



3 1973 **ЗЕМЛЯ**
И
ВСЕЛЕННАЯ

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·
· ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·



Одна из медалей, посвященных Копернику

Образ Николая Коперника часто встречается в портретной живописи и графике, в нумизматике, в настольных памятных и юбилейных медалях.

К 400-летию со дня рождения Коперника по инициативе Общества друзей наук, основанного в 1857 году в Познани и действующего поныне, был организован выпуск юбилейной медали. Медаль предназначалась для подписчиков альбома, вышедшего к юбилею Коперника в 1873 году. Однако выпуск медали был осуществлен лишь спустя 20 лет после юбилея. Она была отчеканена Берлинским монетным двором в 1893 году. Ее автор — немецкий художник-гравер Ф. Белов.

Медаль диаметром 64,8 мм изготовили из сплава олова, сурьмы и меди и только несколько экземпляров из серебра и бронзы. На лицевой стороне медали — барельеф великого ученого: Коперник, облаченный в мантию каноника, держит в руке символическое изображение гелиоцентрической системы. Для надписи использовано двустишие драматурга Яна Каминского (1777—1855). В переводе с польского оно звучит так:

Польское родило его племя,
Удержал Солнце, сдвинул Землю.

Надпись разделена символом кометы, внизу указаны годы рождения и смерти ученого.

На оборотной стороне медали — символическое изображение двенадцати зодиакальных созвездий. Созвездия отделены друг от друга пятью звездами, одна из которых «ярче» четырех остальных. В некоторых местах слабая звездочка заменена символическим изображением кометы. Текст гласит:

Николаю Копернику в четырехсотлетие рождения
на земле польской года государственного 1873.

Чтят благодарные соотечественники.

По бортику гурта мелким шрифтом написано, что медаль выпущена по инициативе Общества друзей наук в Познани.



А. А. ХЕКАЛО

Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

3 МАЙ ИЮНЬ 1973 ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

А. Б. Северный — Магнитные поля Солнца и звезд	2
А. С. Компанеец — Вещество в сверхплотном состоянии	12
М. И. Будыко — Изменения климата	18
Л. М. Озерной — Ядра квазаров и активных галактик	25
Р. О. Кузьмин — «Луноход-2» исследует Луну	34
В. П. Головкин — Геомагнитное поле — предвестник землетрясений!	40
Г. А. Желнин — Развитие исследований по геодезии в Эстонской ССР	44
К 500-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА	
А. А. Михайлов — В поисках прямых доказательств движений Земли	50
ДИСКУССИИ, ГИПОТЕЗЫ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ	
В. К. Цысковский — Углекислота... и жизнь на Марсе	54
ЭКСПЕДИЦИИ	
К. Н. Федоров — Сейшельские острова	55
В. М. Гринберг, А. М. Городницкий — Геофизические исследования в ледовитых морях	58
АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	
Е. П. Левитан — Школьная астрономия вчера, сегодня и завтра	61
ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ	
А. М. Микиша — Геодезия и картография в России начала XVIII века	67
НАРОДНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ И ПЛАНЕТАРИИ	
Н. С. Николов — Народные обсерватории Болгарии	70
ПО ВЫСТАВКАМ И МУЗЕЯМ	
А. В. Кокшилов — Школьный музей космонавтики	74
ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ	
Т. Л. Коровкина — Юные астрономы Ярославля	76
Знаете ли Вы метеорную астрономию!	79

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Нейтрино и модели Солнца [11]; Спиральные рукава и активность ядер галактик [17]; Полный радиационный эксперимент [24]; «Луноход-2»: день третий [39]; Вулканы и земные приливы [40]; Современные движения земной коры [48]; Крупномасштабные вихри в океане [49]; Декаметровое радиоизлучение Юпитера [73].

На о б л о ж к е: 1-я стр. — Карта видимого полушария Луны с местами посадки советских автоматических станций;

4-я стр. — Годи́чный параллакс звезд. В древности астрономы, наблюдая звезды, не замечали у них смещений — паралла́ксов, вызванных годичным движением Земли. Они пришли к выводу, что Земля покоится в центре Вселенной. Другое возможное объяснение предложил Коперник: звезды находятся от нас на расстоянии, бесконечно большем по сравнению с диаметром земной орбиты (к статье А. А. Михайлова).



Академик
А. Б. СЕВЕРНЫЙ

Магнитные поля Солнца и звезд

Вполне возможно, что солнечные и звездные вспышки, радиоизлучение квазаров и пульсаров черпают свою энергию из огромных запасов магнитной энергии.

11 мая Андрею Борисовичу Северному исполнилось 60 лет. Один из основателей современной теоретической астрофизики в СССР, признанный глава советской школы исследователей Солнца, академик А. Б. Северный более 20 лет руководит Крымской астрофизической обсерваторией Академии наук СССР. Счастливое сочетание вдумчивого теоретика и талантливого экспериментатора позволило А. Б. Северному получить ценные научные результаты, во многом определившие направление исследований в различных областях астрофизики — от внутреннего строения звезд до проявлений солнечной активности.

За большие заслуги в развитии советской науки академику Андрею Борисовичу Северному 10 мая 1973 года присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Редакционная коллегия «Земли и Вселенной» поздравляет Андрея Борисовича с высокой правительственной наградой и желает юбиляру здоровья и новых творческих успехов.

Роль магнитных полей в современной астрофизике трудно переоценить. Действительно, в основе нестационарных явлений, сопровождающихся огромным выделением энергии, таких, как вспышки на Солнце и неизмеримо более сильные вспышки на звездах, лежит некоторый процесс превращения магнитной энергии в энергию излучения. Во всяком случае, трудно представить себе какой-либо другой источник энергии, кроме энергии магнитных полей. Предположив существование магнитных полей у квазаров, можно объяснить их мощное радиоизлучение синхротронным излучением электронов, движущихся в магнитном поле. Энергия этого излучения зависит от расстояния до квазаров и напряженности магнитного поля, которая должна быть очень велика, если квазары находятся на космологических расстояниях. Без привлечения необычайно больших магнитных полей (порядка 10^{10} гс и выше) нельзя объяснить многих особенностей пульсаров — мощность их радиоизлучения и его острую направленность. Поэтому представляется чрезвычайно важным выработать методы, которые позволили бы непосредственно измерить магнитное поле квазаров и пульсаров. Многообещающими в этом отношении являются измерения круговой поляризации их оптического и радиоизлучения.

В межзвездном пространстве наблюдается удивительное равновесие между энергией магнитного поля, космических лучей и средней энергией межзвездного газа. Это не может быть случайностью, скорее всего, природа космических лучей теснейшим образом связана с динамикой внутригалактического газа и звезд. Магнитное поле, существующее в нашей Галактике, не позволяет космическим лучам выйти из нее, образуя ловушку, удерживающую космические лучи. Однако они не могут неограниченно накапливаться (при наличии постоянного источника) из-за неустойчивости межзвездной плазмы — неустойчивости, которая проявляется локально и обуславливает в отдельных местах утечку намагниченной плазмы во внегалактическое пространство, подобно тому как постепенно вытекает вода из переполненной ванны.

Никаким перераспределением тепловой энергии на поверхности звезд невозможно объяснить выход энергии в большинстве взрывных процессов, протекающих на их поверхности. С другой стороны, потенциальной энергии сдвига двух солнечных пятен на величину, равную $\frac{1}{3}$ их взаимного расстояния, вполне достаточно для того, чтобы объяснить полный выход энергии при солнечных вспышках, составляющие 10^{31} — 10^{32} эрг. Напомним также, что важная роль космического магнитного поля в «организации» и воздействии на движение плазмы связана с ионизацией плазмы, содержащей множество заряженных частиц, на которые магнитное поле оказывает непосредственное воздействие и которые увлекают за собой нейтральную компоненту газа.



НОСИТЕЛИ СОЛНЕЧНОГО МАГНЕТИЗМА

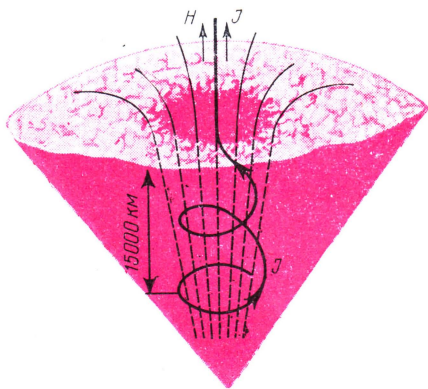
Хорошо известно, что наиболее сильные поля на Солнце связаны с активными областями, в особенности с солнечными пятнами. Но было бы ошибочным утверждать, что магнитное поле звезды — это поле, которое сосредоточено в пятнах. Ведь пятна занимают незначительную площадь на диске звезды, а потому магнитный поток от всего Солнца или звезды в целом может превосходить поток магнитного поля от солнечных пятен. (Обычно они вносят в общий магнитный поток Солнца не более 10%.)

Следует отметить две самые примечательные черты магнетизма Солнца. Первая может быть охарактеризована словом «тонкоструктурность». Магнитные поля на Солнце как бы избегают состояния однородности: они стремятся разделиться на узкие трубки, элементы, будто состояние одно-

родности для них противостоит — неустойчиво. Этой тонкой структуре магнитного поля соответствует тонкая (волокнистая) структура плазмы и ее движения как в спокойной хромосфере, так и, особенно, в активных областях. Например, изучение движения вещества в солнечных пятнах позволяет обнаружить при высоком разрешении отдельные выбросы, колебания волокон полутени пятен и другие особенности. По мнению сотрудника Крымской астрофизической обсерватории Н. В. Стешенко, даже в порах, размер которых равен всего нескольким дуговым секундам, магнитное поле может превышать тысячи



Солнечная вспышка 30 мая 1972 года. На снимке, полученном в Крымской астрофизической обсерватории, заметна тонкая волокнистая и точечная структура эмиссии активной области, в которой произошла вспышка



гаусс. За последнее время открыты также «микропятна» — тонкоструктурные элементы с большой напряженностью поля. Они в изобилии рассеяны вокруг пятен. Возможно, что наблюдаемое часто в пятне преобладание магнитного потока одного знака компенсируется потоком противоположного знака от этих мелких элементов.

Согласно классическим представлениям, магнитное поле пятен — основных носителей солнечного магнетизма — соответствует полю верхушки соленоида. В центре пятна поле перпендикулярно поверхности Солнца, то есть поле здесь продольное, направленное вдоль радиуса Солнца. На границе светлой части пятна поле почти поперечное, его направление перпендикулярно солнечному радиусу.

Детальное изучение распределения магнитного поля внутри солнечных пятен выявляет тонкую структуру поля: оно концентрируется в жгутах и мелких элементах, обнаруживает скручивание в целом, и в отдельных местах пятна наблюдается вихревая структура расположения силовых линий. Нередко внутри пятен заметны «островки» — маленькие области чисто поперечного поля, вопреки классическому представлению о магнит-

ном поле пятна. В пятнах есть также элементы очень малого размера с исключительно высокой напряженностью поля, достигающей 5000 гс. По-видимому, магнитное поле внутри пятна состоит из двух компонент: первая — сравнительно слабое поле напряженностью 300—500 гс — соответствует самой темной части пятна; вторая — волокна сильного поля (несколько тысяч гаусс) — образует более светлую часть пятна. Любопытно, что первая составляющая почти всегда имеет направление, противоположное направлению сильного поля.

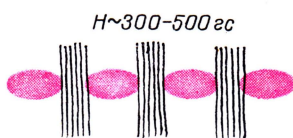
Возле отдельных пятен обнаружено азимутальное магнитное поле, которое хорошо согласуется с вихревой структурой, наблюдаемой вокруг пятен в линии H_α (вихри Хэйла). Интересно, что вихревая структура захватывает, по-видимому, не только верхний, но и нижние уровни солнечных пятен. Вихревая структура пятен — явление чисто гидродинамической природы, подобное земным циклонам. Действительно, закручивание газа для пятен разной полярности в большинстве случаев одно и то же и меняется на противоположное только при переходе из северной в южную полусферу Солнца. Это говорит, скорее, об увлечении магнитного поля своеобразными гидродинамическими циклонами — солнечными пятнами.

Одновременное изучение магнитного поля пятен в двух спектральных линиях, возникающих на разной глубине, позволяет составить пространственное представление о магнитном поле солнечных пятен, а также определить характер и величину электрических токов, создающих поле пятна. Тонкую структуру можно проследить

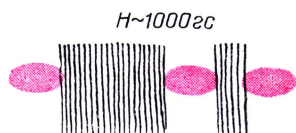
и в глубине пятна. Измерения показывают, что напряженность поля сперва возрастает, затем убывает, а вектор магнитного поля с глубиной очень сильно поворачивается, так что на двух близких по глубине уровнях (разница около 200 км) мы можем обнаружить поля противоположного направления. Нередко наблюдаются движения внутри пятен, не совпадающие с направлением силовых линий, причем энергия этих движений существенно меньше энергии поля. По-видимому, эффект обусловлен просачиванием плазмы между жгутами силовых линий магнитного поля внутри пятна. Напротив, наблюдаются поперечные движения там, где поле продольное. Можно также отметить равенство электрических токов, текущих вниз и вверх в области пятна, что свидетельствует о стационарности системы этих токов в солнечных пятнах. Зная распределение магнитного поля и токов в области пятна, можно выяснить распределение электромагнитных сил, действующих в пятне. Как следует из работы, выполненной в Крымской астрофизической обсерватории В. А. Котовым, электромагнитные силы действуют, сдвигая пятно в горизонтальном направлении, главным образом, вдоль солнечной долготы. В пятне существует также электромагнитная сила, направленная вниз и вызывающая преимущественное опускание газа (эффект Эвершеда).

Большим успехом теории явилось объяснение темноты пятен. Оказалось, что магнитное поле пятна задерживает конвекцию — основной агент переноса тепла в атмосфере Солнца. Вероятно, необходимая для этого напряженность поля составляет

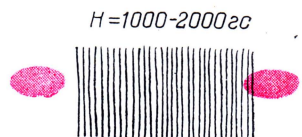
Картина магнитного поля пятна и его токовый аналог — виток электрического тока спирального вида. В темной части пятна поле продольное, в светлой — поперечное



Потемнение
межгрануляционного
пространства



Пора



Малое пятно
без полутени



Пятно
с полутенью

■
Образование пятна. По мере повышения напряженности магнитное поле сдерживает конвекцию — основной агент переноса тепла в солнечной атмосфере, вызывая потемнение все большего участка поверхности Солнца (приблизительная схема)



1000 гс, поскольку наблюдаются нередко элементы с полем 1000 гс, в которых пятно едва оформилось. Однако возникают трудности. Магнитное поле, если оно чисто дипольное для всей звезды в целом, вряд ли может задержать конвекцию, будучи горизонтальным в экваториальных областях звезды. Другое объяснение появления пятен — перераспределение полей и их собирание с большой площади благодаря конвекции («супергрануляции»), действующей в нижних слоях конвективной зоны. Но и оно едва ли состоятельно. Никакая конвекция не может обеспечить возникновение преимущественно биполярных пятен, расположенных определенным образом, так что спереди идет пятно северной, а сзади — пятно южной полярности, или наоборот, причем полярность меняется с 11-летним циклом. Скорее всего, силовые трубки в виде «змей» или «тороидов» должны существовать достаточно долго в нижней атмосфере Солнца независимо от конвекции. Токовый аналог — виток электрического тока спирального вида, который дает в нижних слоях поле типа соленоида, а наверху — ток, текущий приблизительно вдоль силовых линий магнитного поля.

Второе свойство магнитных полей пятен и активных областей характеризует их как макроскопические образования: на большом расстоянии от активной области или от пятен (в верхней короне) их магнитное поле достаточно хорошо описывается **полем простых диполей**, или соленоидов, и не показывает тонкой структуры. То же самое справедливо и для Солнца в целом. Свойства простых магнит-

ных диполей у активных областей Солнца и у звезд обнаруживаются, если рассматривать поведение поля за длительный промежуток времени. Хорошо известно, что представление о диполе, магнитная ось которого наклонена к оси вращения (гипотеза вращающегося ротатора), довольно неплохо описывает долгопериодические колебания магнитного поля звезд. Так, в среднем, магнитное поле пятна сходно с полем соленоида при условии, что величина кольцевого тока, протекающего в пятне, около 10^{11} — 10^{12} а. Токи такой величины вполне достаточны, по мнению Х. Альвена, для того, чтобы вызвать процессы типа солнечной вспышки, если токовая петля простирается в солнечную корону.

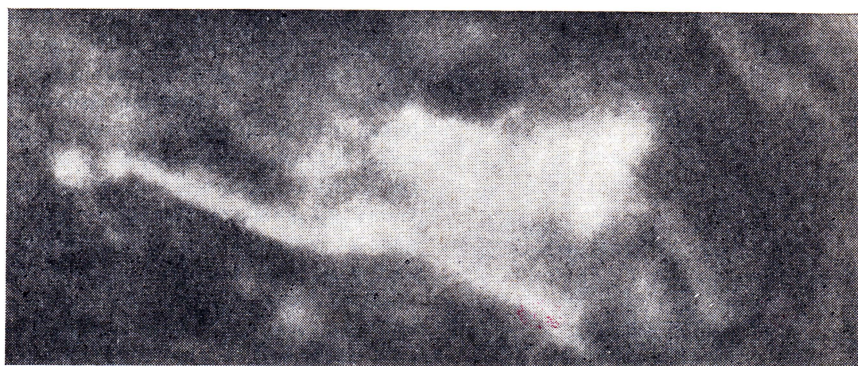
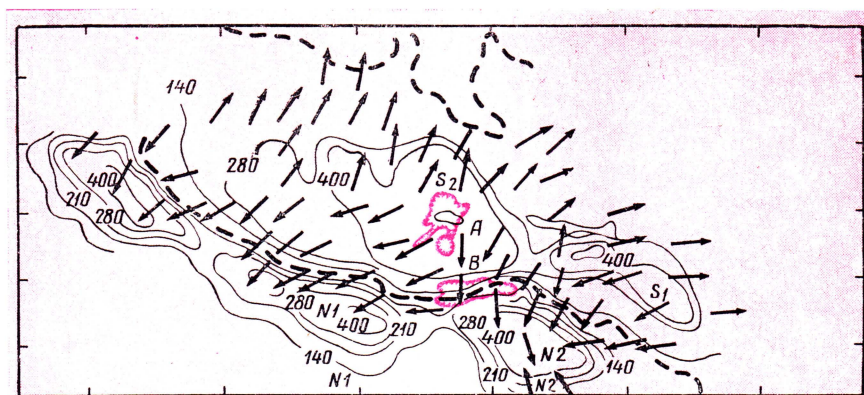
ГДЕ И КАК ПОЯВЛЯЮТСЯ ВСПЫШКИ

Продолжая рассмотрение магнитных полей по мере удаления от их основных носителей — солнечных пятен, мы также встречаемся с рядом интересных особенностей. Однако прежде чем перейти к ним, рассмотрим характер сильных магнитных полей в местах, где возникают солнечные вспышки. Следует отметить, что в активной области структура поля между пятнами не очень сильно отличается от той, которая могла быть порождена взаимодействием диполей, эквивалентных солнечным пятнам. Правда, возможны исключения — явление так называемых «неправильных связей», то есть замыкание силовых линий не на ближайшем полюсе противоположной полярности, а на более отдаленном.

Как отмечалось выше, запаса потенциальной энергии взаимодействия

магнитных полей солнечных пятен вполне достаточно для обеспечения энергии, высвобождаемой при солнечных вспышках. Однако такой феноменологический вывод накладывает ограничение на возможные процессы преобразования магнитной энергии, и возникает вопрос, имеются ли какие-либо наблюдательные свидетельства этого? В частности, не связаны ли вспышки с некоторыми особыми магнитными конфигурациями, например с нейтральными точками? Возможность подобной связи следует из сравнения положений ярких узлов вспышек с картами продольных полей: многие яркие точки появляются практически на нейтральной линии продольного поля. Достоен также внимания тот факт, что вспышки не возникают, как правило, в простых биполярных группах: необходим как бы третий «магнитный полюс» для того, чтобы появилась вспышка. Кроме того, вспышки возникают лишь тогда, когда поле на нейтральной линии меняется сильно: примерно одна десятая гаусса на километр.

Солнечный магнитограф позволяет измерять полный вектор магнитного поля, и впервые французские исследователи зарегистрировали сильные поперечные поля в тех местах, где появляются вспышки, даже когда они находятся на линии нулевого продольного поля. Эти магнитные поля почти на 85% случаев обладают весьма любопытной особенностью: здесь происходит соединение противоположно направленных поперечных полей или как бы их «пересечение». Это означает, что если в окрестности таких вспышек вычислить величину вер-



тикального электрического тока, то она окажется довольно большой. Иными словами, оба специфических свойства — сильное изменение величины продольного поля и направление поперечного поля — указывают на мощный электрический ток в местах солнечных вспышек.

Заслуживает внимания также поведение со временем полного магнит-

ного потока при вспышках. Оказалось, что если магнитный поток одной полярности возрастает, магнитный поток другой полярности убывает. Связанное с большими вспышками изменение полного результирующего магнитного потока со временем достаточно велико для того, чтобы обеспечить электродвижущую силу порядка 10^3 в. Это соответствует энергии протонов, которые генерируются вспышками, если только такая электродвижущая сила фактически возникает. Есть основания полагать, что это действительно так. Но тогда проводимость солнечной плазмы в местах вспышек может быть существенно (почти в 10^3 раз) ниже, чем обычно считалось.

Таким образом, можно наметить следующую ориентировочную, еще не совсем обоснованную картину того, что происходит во вспышках. Вместе с

Карта магнитного поля группы пятен, в которой 6 июля 1966 года наблюдались мелкие вспышки (области A и B, отмеченные штриховкой), а рано утром 7 июля — мощная вспышка, сопровождавшаяся выбросом космических лучей. Фотография вспышки в лучах H_α приведена внизу. Сплошные линии соответствуют линиям равной напряженности продольного поля, выраженной в гауссах; пунктир — линия, где продольное поле равно нулю; стрелки показывают направление поперечного поля; указана полярность пятен



солнечным пятном поднимается снизу система стационарных электрических токов, которая существует задолго до вспышки и наблюдается как система ярких точек и волокон. Благодаря тонкой структуре (характерный размер меньше 100 км) джоулево тепло, выделяющееся при прохождении тока, достаточно эффективно нагревает эти точки и волокна, если электрический ток течет вдоль некоторых узких каналов — волокон, где проводимость наибольшая и где магнитные силовые линии сконцентрированы главным образом вдоль оси каналов. Эта система стационарна в том смысле, что все каналы находятся в покое до тех пор, пока магнитный поток стационарен. Затем результирующий магнитный поток через активную область начинает изменяться, так как появляется новое магнитное поле снизу. Сила тока в волокнах увеличивается выше некоторого критического значения, возможно, выше предела, установленного шведскими астрономами Х. Альвеном и П. Карлквистом для взрыва токового шнура. Одновременно сильные электрические токи, текущие вдоль каналов, где проводимость выше «нормы», могут увеличивать проводимость, что вызывает лавинный рост скорости электронов. Таким образом, возбуждается вспышка из-за внезапного разрыва (с образованием двойного слоя) токового шнура, равно как из-за действия этого лавинного механизма. Шнуры электрического тока сжимаются благодаря пинч-эффекту, что вызывает еще больший нагрев и также инжекцию быстрых частиц вдоль осей этих каналов — волокон.

Взаимодействие магнитных полей

волокон с солнечными пятнами и, особенно, с теми, которые только что появились, может привести к очень быстрым и энергичным движениям плазмы, охватывающим обширные площади. Токовые волокна могут быть выброшены в окружающее пространство вместе с принадлежащими им магнитными полями. Существовавшие до этого магнитные ловушки, которые содержали быстрые протоны, начинают «вытряхивать» их, поскольку поля изменяются, и освобождаются протоны высокой энергии.

Мы едва ли можем теперь держать своего первоначального мнения (1959 г.) о том, что вспышки связаны с действием некоторого механизма около нейтральных точек. Почему? Во-первых, нет связи положения возгорания вспышки ни с областью нулевого вектора полного поля, ни с относительным минимумом абсолютного поля. Во-вторых, должно существовать очень много нейтральных точек для того, чтобы объяснить появление многих возгораний вспышек. И наконец, сдвиги в пятнах и скорости плазмы слишком медленны и не позволяют объяснить быстрое возникновение вспышки и образование ускоренных частиц вследствие гидродинамических неустойчивостей. Сам вид вспышки — скопления тончайших ярких нитей и точек — не вяжется с такой концепцией.

СВЕЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Переходя далее к масштабам, большим, чем группы солнечных пятен, но меньшим, чем Солнце в целом, следует как наиболее характерную черту отметить чрезвычайно тес-

ную связь между напряженностью магнитного поля и структурой свечения солнечной атмосферы, в особенности в линиях кальция и водорода. Оказалось, что интенсивность излучения в этих линиях тем больше, чем больше напряженность продольного и поперечного поля. Зависимость эта справедлива не только для линий кальция и водорода, но и для металлических линий, возникающих в фотосфере.

Однако тщательное изучение связи свечения с магнитным полем, а также характерных размеров ячеек усиленного свечения и магнитных полей не показывает в подавляющем большинстве случаев какого-то характерного размера, типичного для «супергранул» (30 тыс. км). Более того, как обнаружили сотрудники Крымской астрофизической обсерватории С. И. Гопасюк и Т. Т. Цап, свечение усиливается в области, где вертикальная составляющая скорости близка к нулю, тогда как, согласно представлению о супергрануляции, эти места должны находиться вблизи максимальных значений скорости подъема или опускания. Особенно характерны спектрограммы в металлических линиях, которые не показывают структуры «супергранул».

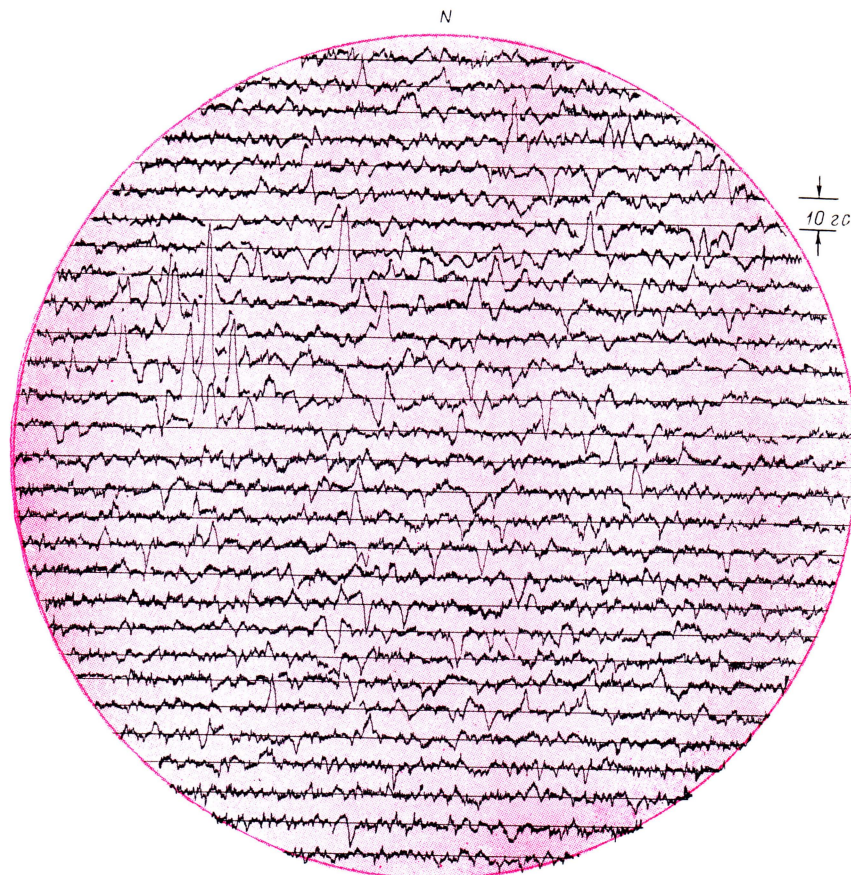
Для флоккульных площадок (занятых факелами) опять-таки характерна тонкоструктурность поля: при записи бывают заметны отдельные, высокие значения напряженности поля, достигающие нескольких сот гаусс и занимающие на Солнце всего одну — две секунды дуги. Такая резкая концентрация магнитных полей в малых областях не исключает возможности действия джоулева тепла как источ-

ника разогрева флоккулов. Помимо этого, в сильно сконцентрированном поле возникают не только магнитозвуковые волны, которые могут сильно затухать, разогревая плазму, но и возбуждаются колебания плазмы с высокой частотой, которые также нагревают плазму. Это подтверждается усилением радиоизлучения на коротких волнах в местах, занятых полями факелов, флоккулов, и в активных областях вообще.

СОЛНЦЕ — ВРАЩАЮЩИЙСЯ ДИПОЛЬ?

Вся поверхность Солнца **вне активных областей** покрыта маленькими участками магнитного поля различной полярности, напряженности и размеров. На записях, сделанных с магнитографом при большом разрешении, все эти элементы поля как бы перемешаны хаотически. Только вблизи пятен и активных областей картина поля становится более или менее однородной, с обширными униполярными или биполярными областями, сконцентрированными вокруг пятен. Поле, о котором пойдет сейчас речь, можно назвать **общим** магнитным полем Солнца. Оно занимает почти 90% всей поверхности Солнца и, несмотря на то, что оно слабое, может играть важную роль в магнетизме Солнца как звезды.

Следует отметить, что при изучении общего магнитного поля Солнца особое значение имеет разрешающая способность его регистрации, так как эффект осреднения при низком разрешении может серьезно исказить картину поля. Могут наблюдаться широкие униполярные области, которые при высоком разрешении оказы-



2 августа 1965 года S

ваются мультиполярными. Обычно используемые слова «униполярные области» означают только перевес данной полярности в общем магнитном потоке от данной области.

Наименьшие элементы общего магнитного поля, очевидно, определяются разрешением. Вероятно, их размер не превышает $2''$. Максимальные значения напряженности этих элементов поля могут достигать 20 гс, а ее среднее значение около ± 3 гс. Напряженность элементов в хромосфере в

1,5 раза меньше, чем в фотосфере. Ни размеры, ни напряженность поля в элементах не показывают четкой зависимости при переходе от центра к краю, что свидетельствует о хаотическом характере общего магнитного поля Солнца.

Хотя среднее магнитное поле в полярных шапках Солнца обычно имеет противоположную полярность и иногда даже одинаковую напряженность, что делает Солнце сходным с диполем, существует много особенностей в поведении потока магнитного поля. Например, в течение 1964—1969 годов в полярных шапках преобладала южная полярность, поскольку площадь элементов, занятых южным полем, была, как правило, больше, чем площадь элементов, занятых северным полем. Расчеты показывают, что плот-

■ *Запись продольной компоненты магнитного поля по всему диску Солнца. Запись сделана магнитографом Крымской астрофизической обсерватории. Отклонение книзу означает северную полярность, отклонение вверх — южную*



ность энергии общего магнитного поля от 10 до 100 раз меньше, чем плотность энергии плазменных движений. Поэтому во всех спокойных областях Солнца движение плазмы «не организовано» магнитным полем: силовые линии просто участвуют в турбулентных движениях плазмы и в систематическом истечении плазмы из Солнца, называемом солнечным ветром.

Однако к наиболее загадочным и интересным относятся флуктуации со временем общего магнитного поля Солнца, на которые впервые обратили внимание американские исследователи Солнца Бэбкоки. В 1955 году они заметили исчезновение общего поля на южном полюсе почти на полмесяца. Аналогичные явления были зарегистрированы также в Крыму в 1965 году. Но, пожалуй, еще более удивительны кратковременные колебания полярного поля за время порядка одного — двух дней, обнаруженные в Крыму в 1967 году, когда почти одновременно на обоих полюсах поле достигало максимального значения и наблюдалось обращение полярности. В некоторых случаях максимум напряженности поля на одном полюсе предшествовал максимуму на другом. Это выглядело крайне неправдоподобно, но в 1968 году Я. Стенфло на обсерватории Маунт Вилсон наблюдал аналогичное странное появление «пииков» поля на обоих полюсах и синхронное изменение средней полярности рассматриваемых полярных «шапок».

Возникает вопрос, характерны ли быстрые флуктуации общего магнитного поля для всего диска Солнца? Иногда записи общего магнитного по-

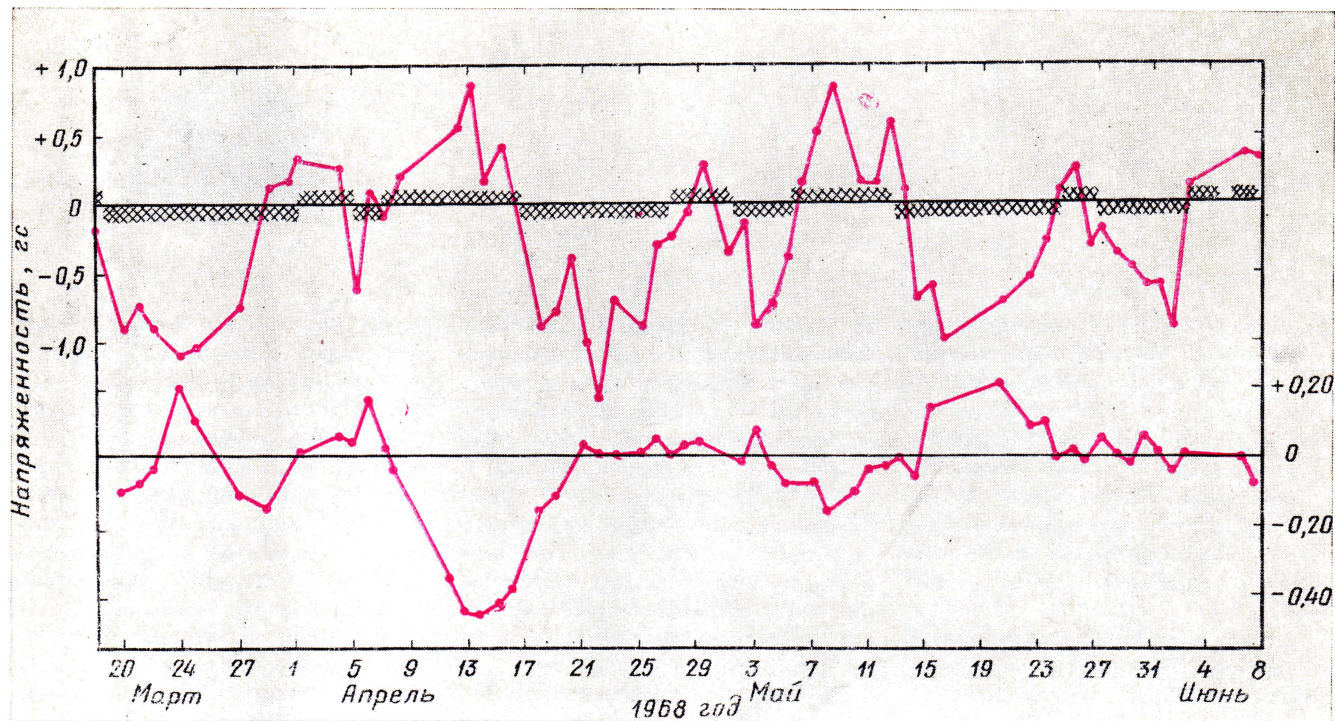
ля Солнца показывают изменения магнитного потока в течение одного дня, но такие записи продолжаются почти все ясное, дневное время. Поэтому возникла идея получить информацию о магнитном поле Солнца в целом. Этого можно достигнуть, если вместо изображения Солнца, которое строится оптикой на щели магнитографа, направлять на щель параллельный пучок солнечных лучей. Метод дает некоторое усредненное по всему изображению Солнца значение продольного магнитного поля, как если бы Солнце было звездой. Такие записи регулярно ведутся с конца 1967 года по настоящее время в Крымской астрофизической обсерватории, их точность достигает $\pm 0,15$ гс. Запись поля показывает периодичность флуктуаций (три полных периода), так что **дважды** в течение 27-дневного периода вращения мы имели примерно одинаковую положительную и отрицательную полярность, будто бы Солнце было вращающимся квадруполем. Следует сказать, что в 1969 году на записях не всегда заметен «квадрупольный характер» изменения поля. Случалось, что смена знака происходила лишь один раз, то есть Солнце вело себя как вращающийся диполь. Особенно это характерно для 1970 года.

Пожалуй, самая примечательная особенность флуктуаций общего магнитного поля Солнца — небольшое различие периода флуктуаций, определенного по северной и южной полярности. Оказывается, что период, определенный по северной полярности, примерно на один день короче, чем период, определенный по южной полярности (27,8 дня). Воз-

можно, этот эффект связан с упомянутой выше асимметрией распределения площадей северной и южной полярности: протяженные по площади элементы южной полярности вносят в сигнал больше, чем элементы северной полярности, и если элементы южной полярности вращаются в среднем медленней, то мы получим различия в периодах флуктуаций. Кстати, измерения геомагнитного полярного поля за большой промежуток времени, выполненные недавно датским исследователем Л. Свальгардом, также указывают на более быстрое вращение секторов межпланетного поля северной полярности, нежели южной. А секторная структура межпланетного магнитного поля обусловлена магнитным полем Солнца.

Различие в скоростях вращения для областей южной и северной полярности может породить тороидальное магнитное поле, поскольку эти области должны быть связаны друг с другом магнитными силовыми линиями, которые будут со временем вытягиваться в направлении вращения Солнца. Любопытно, что рентгеновские фотографии короны, сделанные недавно американскими учеными, показывают временами очень длинные яркие нити, простирающиеся из одного полушария в другое и наклоненные к экватору. Вероятно, эти нити определяются магнитным полем.

Наиболее замечательным в поведении общего магнитного поля Солнца, как звезды, является отличное согласие между солнечным полем и продольной компонентой межпланетного магнитного поля, обнаруженное в нашей совместной с американскими исследователями



Д. Вилкоксом и Д. Колбэрном работе. Соответствие между солнечным и межпланетным полем относится не только к знаку поля, но и к величине его напряженности. Это означает, что солнечный ветер как бы «вытаскивает» фотосферные поля из Солнца и несет их в межпланетное пространство к Земле (среднее время прохождения от Солнца к Земле 4,5 дня). Такой процесс невозможен в активных областях, где магнитные поля достаточно сильны, чтобы не пустить плазму в межпланетное пространство. Поэтому среднее солнечное поле, которое выносится солнечным ветром, является полем *вне* активных областей — тем полем, которое покрывает

80—90% площади всего диска Солнца. Солнечный источник межпланетного поля должен занимать очень протяженную область на Солнце, так как вклад в полный магнитный поток пропорционален площади. Непосредственный обзор синоптических карт Солнца показывает, что линия, разделяющая противоположные полярности, может достигать высоких широт, переходя из северной в южную полушару, и оставаться стационарной в течение нескольких оборотов Солнца.

Иногда магнитное поле Солнца изменяется очень быстро, в течение одного дня приблизительно от -1 до $+1$ гс. Таких быстрых колебаний не наблюдается в магнитных полях солнечных пятен. Эти «прыжки» поля обычно появляются, когда никаких пятен на Солнце нет.

ЧЕМ ВЫЗВАНЫ ФЛУКТУАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА И ЗВЕЗД?

До сих пор предполагалось, что все изменения общего поля Солнца объяснены вращению с периодом 27 дней.

Однако столь быстрые, порядка одного дня, колебания общего поля никак нельзя связать с вращением Солнца: за один день слишком маленькая область выходит из-за края Солнца (или скрывается за его краем), чтобы внести заметный вклад в величину поля.

Трудности с гипотезой ротатора — вращающегося диполя — становятся еще больше, если мы перейдем к звездам. В течение последних трех лет в Крымской астрофизической обсерватории ведутся фотоэлектрические измерения магнитных полей звезд. До недавнего времени магнитные поля звезд определяли фотографическим методом по спектральным линиям некоторых элементов. Известно, что в магнитном поле спектральные линии расщепляются обычно на три компоненты (зеemanовское расщепление) и в зависимости от направления поля приобретают определенную поляризацию. Точность этого метода была не выше ± 100 гс. Фотоэлектрический метод позволил повысить эту точность для ярких звезд до 10—20 гс, благодаря

Изменение «среднего» магнитного поля Солнца, наблюдаемого так, как если бы Солнце было звездой (верхняя кривая). Штриховка соответствует межпланетному магнитному полю северной (выше линии, где напряженность равна нулю) и южной полярности. Внизу — магнитный поток от всех пятен, деленный на площадь диска Солнца



НЕЙТРИНО И МОДЕЛИ СОЛНЦА

Как проверить, насколько верны наши представления об источниках энергии Солнца? Поверхностное излучение не может рассказать о процессах в солнечном ядре, для этого надо заглянуть непосредственно в ядро. «Увидеть» его помогают нейтрино — частицы, испускаемые при термоядерных реакциях в центре Солнца. В отличие от фотонов, нейтрино обладают сильнейшей проникающей способностью: они пронизывают светило, совершенно не поглощаясь. Конечно, «видеть» имеет здесь метафорический смысл. В действительности речь идет о регистрации единичных актов поглощения нейтрино в детекторе.* Однако обнаружить нейтрино оказывается гораздо труднее, чем найти иголку в стоге сена.

В 1972 году детекторы не зарегистрировали ни одного солнечного нейтрино. Это позволило установить, что поток нейтрино от Солнца по крайней мере в 6 раз меньше минимального значения потока, предсказываемого теорией. Иначе говоря, результаты экспериментов указывают на более низкую температуру в центре Солнца, чем следует из теории. Естественно, расхождение теории с наблюдениями встревожило астрофизиков. Были предприняты попытки устранить противоречия, немного подправив стационарную модель Солнца. Но они ни к чему не привели.

Тогда американский астроном В. Фаулер обратил внимание на то, что при построении модели солнечного ядра используется современная светимость Солнца, которая отражает состояние источников энергии с запаздыванием почти на 10 млн. лет —

чему удалось обнаружить магнитные поля звезд, у которых существование полей раньше не предполагалось. Так, у Сириуса нередко можно наблюдать поле напряженностью 5—10 гс, у Веги однажды мы зарегистрировали поле напряженностью 10—50 гс; у звезд β Близнецов и Альдебарана — 100 гс. Примерно такую же напряженность имеет поле Ригеля.

Характерно, что эти поля нестационарны. У Веги, например, в течение почти года нельзя было обнаружить никакого поля, затем оно появилось и существовало около 10 дней. Но самое интересное, что у некоторых звезд замечены очень быстрые изменения поля. Ярко проявляются флуктуации поля у сверхгиганта γ Лебеда, где напряженность на протяжении двух—трех дней колеблется от —200 до +200 гс. Если поперечник этой звезды 10^{13} см, то при скорости вращения, равной 2 км/сек, магнитная область, появляющаяся или исчезающая благодаря вращению звезды, составляет всего 4 миллионных долей от площади диска. Поэтому пришлось бы предполагать локальное поле по крайней мере 10 млн. гс для того, чтобы объяснить наблюдаемые изменения с точки зрения гипотезы вращающегося магнита.

Другое возможное объяснение быстрой переменности поля звезд, возможно, кроется в предположении, что поверхность звезды покрыта значительным количеством магнитных пятен различной полярности и напряженности, которые могут быстро перестраиваться так, что суммарный поток испытывает флуктуации. Однако, если бы на поверхности звезды находилось большое количество таких

элементов, мы бы наблюдали в ее спектре широкую размытую линию вместо четко выраженного зеемановского триплета. Это указывает на значительную однородность магнитных полей звезд.

Таким образом, вращение — слишком медленный фактор для объяснения быстрых флуктуаций магнитных полей Солнца и звезд. Здесь нужен агент, распространяющийся по крайней мере со скоростью звука (около 10 км/сек). Поэтому, возможно, что в основе быстрых флуктуаций магнитных полей лежат некоторые волновые процессы. Нельзя, однако, исключить и конвекцию с характерным масштабом порядка размера звезды.

Все сказанное, конечно, не относится к хорошо известным долгопериодическим изменениям магнитоперемежных звезд спектрального класса Ар, для которых концепция наклонного магнитного ротатора способна объяснить многие особенности в поведении поля, блеска и лучевых скоростей.

Интересно в заключение отметить, что практически одновременно с обнаружением в СССР слабых полей ярких звезд в США были открыты очень сильные поля у слабых звезд — белых карликов. Магнитные поля белых карликов имеют напряженность 10^5 — 10^6 гс. Возможно, что двойные системы, одна из компонент которых обладает столь же сильным полем, могут объяснить свойства рентгеновских звезд.

* Д. Я. Мартынов. Что беспокоит астрофизиков. «Земля и Вселенная», № 4, 1971 г. (Прим. ред.)

Профессор

А. С. КОМПАНЕЕЦ

Вещество в сверхплотном состоянии

столько времени распространяется тепло из центра до поверхности. Нейтрино же дают практически мгновенную картину процессов в солнечном ядре, ибо достигают Земли через 8 минут. Поэтому, если в ядре произошла некоторая перестройка, например на какое-либо время возникла конвекция, то светимость Солнца может не соответствовать нейтринному потоку.

Английские астрофизики Ф. Дили и Д. Гуф предложили конкретный механизм неустойчивости, порождающей временную конвекцию в солнечном ядре. Из-за различия скорости ядерных реакций в центре и на периферии ядра, его химический состав, в частности, распределение гелия-3, может быть неоднородным. Когда неоднородность становится значительной, развивается конвекция, приводящая к перемешиванию ядра. Вначале добавление свежего гелия-3 в центральную часть ядра увеличивает темп реакций и температуру, но затем ядро расширяется и охлаждается, а нейтринный поток падает. Внешние слои Солнца быстро приходят в состояние механического равновесия с ядром; Солнце тоже слегка расширяется и охлаждается. Светимость его уменьшается на несколько процентов. Тепловая волна от разогретившегося ядра достигает солнечной поверхности через 8 млн. лет, а к равновесному состоянию Солнце возвращается спустя 250 млн. лет. Таким образом, описанная картина может повторяться через 250 млн. лет.

Возможно, такое понижение светимости Солнца было причиной сильного оледенения Земли около 250 млн. лет назад. Последний минимум светимости Солнца, как считают английские астрофизики, тоже приходился на оледенение, случившееся 3 млн. лет назад.

«Nature», 240, 5379, 1972.

Единая физическая картина мира, в которой судьбы звезд предсказываются по свойствам отдельных элементарных частиц, все яснее вырисовывается из современных астрономических данных. Для понимания процессов, происходящих внутри звезд, необходимо знать особые свойства сверхплотного вещества.

ЧТО ТАКОЕ ДАВЛЕНИЕ?

Каждый школьник знает или должен знать, что давление — сила, отнесенная к единице поверхности. Но если вдуматься, эта фраза говорит лишь о том, в каких единицах измеряется давление. Но в чем физическая сущность этой величины? Из чего она складывается? На эти вопросы формальное определение не дает ответа.

В повседневной жизни мы чаще всего имеем дело с давлением атмосферы. Оно связано с погодой, и у людей пожилого, а иногда и не столь пожилого возраста с давлением крови, определяющим самочувствие и работоспособность. Формальное, школьное определение кровяного и атмосферного давлений совпадает, но их происхождение во многом различно.

Давление газа нормальной, атмосферной плотности обязано тепловому движению его молекул. Отдельные толчки, происходящие от ударов молекул о стенку сосуда, заключающего газ, из-за большой частоты создают силу, которая воспринимается, как непрерывно действующая.

Давление жидкости вызывается ударами ее молекул только частично.

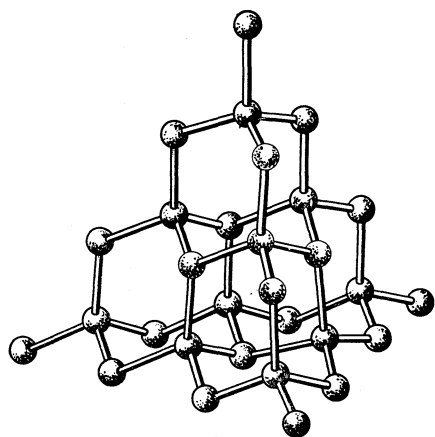
Другая причина давления жидкости — упругие силы между молекулами. В конденсированном состоянии, то есть твердом и жидком, отдельные атомы или молекулы находятся в соприкосновении. При сдавливании такой среды сказывается упругость молекул, сопротивляющихся изменению объема. Эта упругость, ничего общего не имеющая с тепловым движением, тоже создает давление. Чем сильнее внешние воздействия сжимают молекулы, тем больше вклад упругих сил в общее давление жидкости.

Тепловое движение молекул связано с их кинетической энергией, а сжатие под действием упругих сил — с потенциальной. Таким образом, давление газа обязано кинетической энергии его молекул, а давление жидкости или твердого тела и кинетической, и потенциальной энергии.

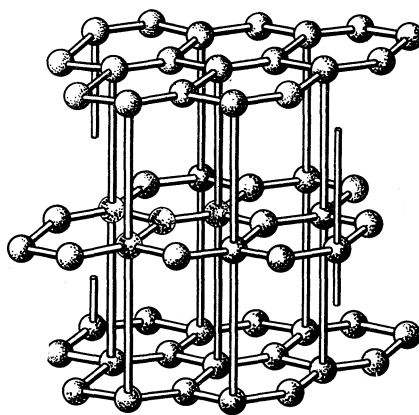
КАКОЕ ДАВЛЕНИЕ СЧИТАТЬ «ВЫСОКИМ»?

Уже сама постановка вопроса показывает, что речь идет об относительном понятии. С точки зрения врача, 200 мм ртутного столба у больного — высокое, и даже очень высокое давление. Для химика высокое давление, скажем, 1000 атм, в отдельных случаях 3000—5000 атм. Такое давление необходимо для того, чтобы шли некоторые важные химические процессы, например связывание азота. Для физика давление может считаться высоким, если оно вызывает определенные превращения вещества.

Вещество состоит из атомов. Менее глубокие превращения не нарушают строения отдельных атомов, более глубокие — стирают их индивидуаль-



Алмаз



Графит

ность. Свойства кристаллического вещества зависят, в первую очередь, от того, как расположены его атомы, как они «упакованы» в кристаллическую решетку. Например, в решетке графита атомы углерода лежат в параллельных плоскостях, наподобие пчелиных сот, то есть по углам правильных шестиугольников. Отдельные плоскости легко скользят одна по другой, что используется, например, в графитовой смазке трущихся частей механизмов. Графит — очень мягкое тело.

Алмаз тоже состоит из атомов углерода, но совсем иначе расположенных. Они находятся по углам и в центре правильных тетраэдров, то есть равносторонних пирамид, у которых все четыре грани — правильные треугольники. Здесь нет таких плоскостей, по которым происходило бы легкое скольжение. Поэтому алмаз так тверд.

Графит превращается в алмаз при давлении выше 60 000 атм. Атомы как бы плотнее укладываются в решетке. Чтобы осуществить столь плотную

упаковку, требуется значительное давление, которое работает, главным образом, против упругих сил между атомами. После того как оно сработало, атомы вновь «зацепляются» друг за друга и находятся в новом положении равновесия, как в исходном веществе — графите.

Другое, более глубокое превращение ожидается у твердого водорода под давлением 2 500 000 атм. Газообразный водород, как известно, состоит не из отдельных атомов H , а из молекул H_2 . Обычный твердый водород тоже построен из молекул, а не из атомов. Молекулы соединяются небольшими силами притяжения, способными сдерживать их в решетке только при очень низкой температуре.

Но если подвергнуть твердый водород сильному сжатию, связи между отдельными атомами в молекулах H_2 разорвутся. Атомы выстроятся в кристаллическую решетку по одному, а не парно. Эта решетка будет иметь такое же строение, как у щелочных металлов — лития, натрия, калия и других. Но тогда и водород станет металлом, то есть будет хорошо проводить электричество.

Превращение изолятора под высоким давлением в проводник уже наблюдалось у фосфора. Причем, после того как давление снимается, фосфор не возвращается в первоначальное состояние, а как бы «закаляется»

в виде проводника — черного фосфора.

Какой же интерес представляет металлический водород для астрономии?

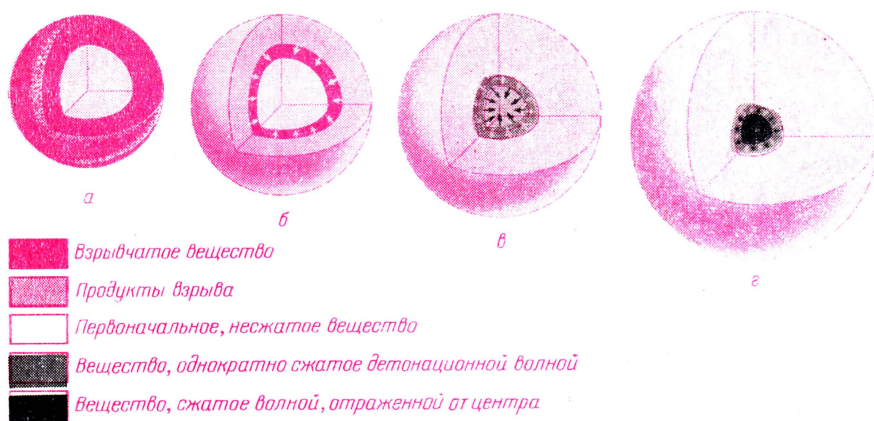
Предполагают, что металлический водород присутствует в недрах больших планет Юпитера и Сатурна, состоящих из более легких элементов, чем Земля. Сильное притяжение помогло планетам-гигантам собрать такие элементы. Если при этом температура твердого металлического водорода не слишком высока, то он может находиться не просто в проводящем, а в сверхпроводящем состоянии. Ток, однажды возбужденный в сверхпроводящем веществе, сохраняется не затухая, так как не выделяет джоулево тепла. Если внутри Юпитера или Сатурна вещество находится в сверхпроводящем состоянии, это должно существенно влиять на магнитное поле планет.

Высказывают предположение, что металлический водород не переходит в обычный, если снять давление, наподобие черного фосфора или алмаза. В отличие от других сверхпроводников, металлический водород будет сохранять нулевое сопротивление вплоть до комнатных температур. Тогда он представит огромный интерес для техники.

К СВЕРХВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЯМ

Понятие сверхвысокого давления так же относительно, как и понятие высокого давления. Физически можно определить как сверхвысокое такое давление, которое разрушает электронные оболочки атомов, начиная с внешних, а при постепенном повышении — вплоть до самых внутренних.

Кристаллические решетки алмаза и графита. Атомы углерода в решетке алмаза упакованы плотнее, и, в отличие от графита, в алмазе отсутствуют плоскости, по которым одна часть кристалла может легко скользить по другой



Давление в центре Земли довольно надежно оценивается по весу и плотности горных пород в 20 000 000 атм. Оно разрушает только часть внешних оболочек атомов, входящих в состав Земли. Заметим, что такое давление уже можно создать искусственно в веществе, но пока на миллионную долю секунды.

При дальнейшем повышении давления от атомов должны оставаться лишь оголенные ядра, окруженные плотным газом электронов, вырванных из ядер. Чисто интуитивно ясно, что такой газ должен производить

Способ получения кратковременных сверхвысоких давлений. Взрывчатое вещество одновременно подрывается с очень многих точек внешней поверхности (а). Оно начинает разлетаться в наружном направлении, а внутрь бежит сходящаяся детонационная волна (б). Детонационная волна обжимает со всех сторон испытуемое вещество, в котором образуется сходящаяся ударная волна (в). Достигая центра, эта волна развивает очень высокое давление и бежит по сжатому веществу в обратном направлении. (Стрелки соответствуют направлению движения вещества.) Таким образом, получается участок сильно сжатого материала около центра (г). Метод имеет два недостатка. Во-первых, сжатие очень кратковременно и могут не успеть совершиться те превращения, которых следует ожидать при статическом давлении. Во-вторых, ударная волна сильно нагревает вещество. Значительная часть ее энергии тратится на нагревание, так что уплотнение из-за этого намного меньше, чем было бы при медленном сжатии

огромное давление, притом нетепловой природы. Сказывается, например, электростатическое отталкивание между одноименно заряженными электронами. Но самое поразительное, что главный фактор, производящий давление, при такой плотности связан не с потенциальной, а с кинетической энергией электронов, причем эта энергия нетепловой природы.

Как известно, при абсолютном нуле всякая система, в том числе электронный газ, имеет наименьшую энергию движения. Раньше полагали, что при абсолютном нуле электроны покоятся, потому что тогда у них не остается кинетической энергии. Но квантовая теория показала, что электроны и при абсолютном нуле обладают огромной кинетической энергией. Дело в том, что они образуют газ с совершенно необычными свойствами, так называемый Ферми-газ. Что это такое, мы и расскажем.

ФЕРМИ-ГАЗ

Периодическая система Менделеева построена в 1869 году на основании данных о химических свойствах элементов. Физические знания того времени были недостаточными, чтобы объяснить найденную закономерность. Объяснение пришло много позже. Оно основано на следующих двух положениях квантовой теории:

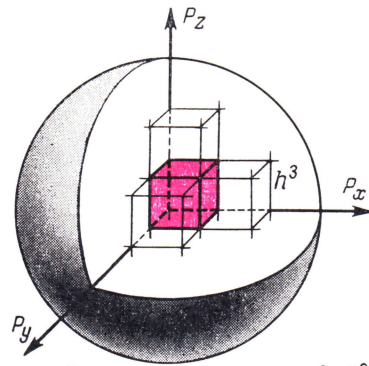
1. Электрон в атоме может находиться не в произвольном состоянии, а только в некоторых, вполне четко и однозначно определенных состоя-

ниях. Они различаются примерно так, как колебания струны с разным числом узловых точек, которым отвечают разные обертоны. Атомные состояния часто, но неправильно называют «орбитами» электронов;

2. В каждом состоянии может находиться не более одного электрона. Если оно занято одним электроном, другой уже не может в него попасть. Это утверждение (принцип Паули) оказывается достаточным для теоретического построения системы Менделеева. Элементы различаются потому, что последовательно заполняются состояния, определяемые согласно первому положению. Периодичность химических свойств атомов вызвана заполнением сходных состояний.

Для нас существенно то, что принцип Паули должен быть применим к электронам вообще, а не только к электронам в атомах. Пусть электроны образуют газ и находятся при абсолютном нуле температуры. Могут ли все они собраться в состоянии с нулевой энергией? Принцип Паули этого не позволяет. Чем больше электронов, тем больше различных состояний в газе они должны занимать, на каждое по одному. Если расположить эти состояния по возрастающей кинетической энергии, то суммарная кинетическая энергия газа при абсолютном нуле будет увеличиваться просто потому, что электроны занимают состояния с наименьшей из возможных энергий, не занятые другими электронами. Растет как бы «куча» занятых состояний, размеры которой определяют общую энергию. К этому выводу пришел Э. Ферми в 1925 году.

Но если газ при абсолютном нуле



$$E_{\text{кин.}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

имеет кинетическую энергию, то он, соответственно, производит и давление. Например, при плотности $5 \cdot 10^{22}$ электрон/см³ это давление превосходит тепловое вплоть до температуры 40 000°. Оно превышает и давление, которое порождает электростатическое отталкивание между электронами.

Мы не случайно выбрали значение плотности $5 \cdot 10^{22}$ электрон/см³. С такой плотностью упакованы атомы в решетке щелочного металла (и в большинстве веществ). При соединении атомов в металл от каждого отделяется внешний, как говорят, валентный электрон, и все эти электроны обобществляются в металле, передвигаясь в нем столь же свободно, как и в газе. Свободой передвижения электронов и объясняется проводимость (но не сверхпроводимость!) металлов.

Электронный газ удерживается в металле силами сцепления атомов в решетке. Они противостоят огромному давлению, которое производят электроны. Любопытно, что сжимаемость щелочных металлов примерно такая же, как если бы внешнему давлению противостояло давление Ферми-газа электронов внутри металла.

ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ ЗВЕЗД

В звездах обычной плотности, таких, как Солнце, тепловое давление электронов, отделившихся от атомов из-за высокой температуры, имеет ту же природу, что и атмосферное давление на Земле. Квантовые законы, в частности принцип Паули, в этих условиях не сказываются существенным образом.

Не следует думать, что это лишь догадки. В некоторых отношениях со-

стояние материи внутри звезд известно лучше, чем внутри Земли, так как в звездах вещество находится в газообразной форме. Свойства таких веществ значительно проще, чем конденсированных, из которых состоит Земля.

Астрономические наблюдения позволяют определять массы, размеры и светимости звезд. По массе и размеру звезды оценивается давление в ее

Возможные состояния Ферми-газа в ящике единичного объема. Состояния отдельной частицы характеризуются тремя проекциями ее импульса: $p_x = mv_x$, $p_y = mv_y$, $p_z = mv_z$, где m — масса частицы, v_x , v_y , v_z — проекции ее скорости. Проекции отложены по координатным осям. Каждое отдельное состояние занимает в этих координатах объем h^3 , где $h = 6,56 \cdot 10^{-27}$ СГС (постоянная Планка). В кубике такого объема находятся состояния двух частиц, различающиеся проекциями собственного момента вращения частиц (спина). Он имеет только две возможные проекции $\pm \frac{h}{4\pi}$. Равновесное состояние

газа при абсолютном нуле температуры соответствует его наименьшей возможной энергии. Чтобы построить такое состояние, надо уложить кубики объема h^3 плотнейшим образом. Каждый кубик должен располагаться как можно ближе к началу координат. В результате состояния отдельных частиц заполняют шар с центром в начале координат. В этих координатах радиус сферы для частиц любой природы — электронов, протонов, нейтронов — один и тот же

центре — оно равно весу вышележащего столба вещества. Давление, в свою очередь, создается газообразным веществом и находящимся в нем электромагнитным излучением. Реальность светового давления была доказана еще в опытах П. Н. Лебедева в 1900 году. Так как плотность звездного вещества примерно известна из размеров и массы звезды, по давлению определяется температура. А температура связана со скоростью термоядерных реакций, протекающих в звезде. Эти реакции поставляют энергию, излучаемую в пространство с поверхности звезды. Таким образом, температура внутри звезды, вычисленная одним способом, сравнивается с тем, что дает светимость. Скорость термоядерных реакций вычисляется очень надежно по земным, лабораторным данным о ядерных реакциях. Если концы с концами сходятся, значит принятая модель звезды соответствует ее действительному строению.

А вот белые карлики не подходят под описанную модель: они имеют примерно такую же массу, как Солнце, и такой размер, как Земля, то есть их вещество в миллион раз плотнее солнечной материи. Тепловое и световое давление в белых карликах сравнительно невелико, а электроны ведут себя как Ферми-газ, давление которого имеет квантовую природу. Считается, что обычные звезды и белые карлики соответствуют различным этапам звездной эволюции. В белых карликах значительно истощено ядерное горючее, так что тепловыделение в недрах звезды не может противостоять силе тяжести, притягивающей вещество к центру.

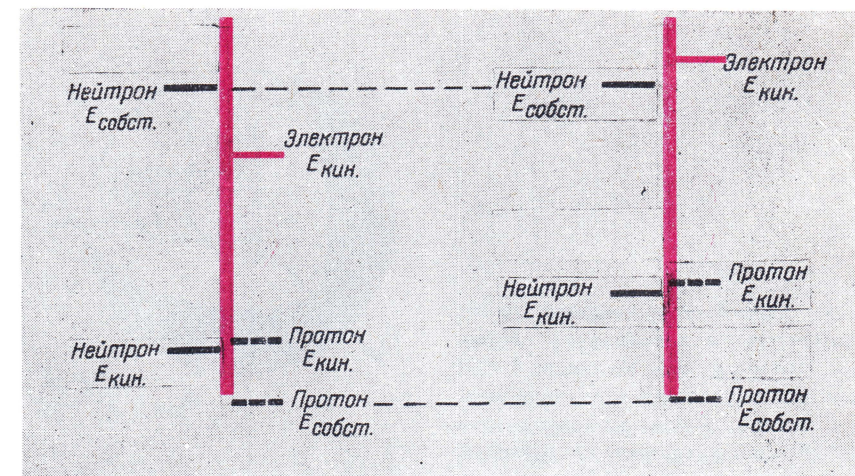
Если бы мы не знали о свойствах

Ферми-газа, нам не удалось бы понять, что такое белые карлики, то есть проследить важный этап звездной эволюции, по крайней мере, для не очень массивных звезд.

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Выше мы говорили о кулоновской энергии отталкивания между электронами, над которой при высокой плотности преобладает кинетическая энергия Ферми-газа. Известно, что вещество в целом электрически нейтрально: отрицательный заряд электронов компенсируется положительным зарядом ядер. Из-за этого электрические силы обладают небольшим радиусом действия, сравнимым с расстоянием между соседними ядрами, или немного более.

Гравитационные силы всегда имеют только один знак, отвечающий притяжению. Хотя для отдельного электрона они неизмеримо меньше действующих на него электрических сил, но зато они ничем не ослабляются. В очень большой массе силы притяжения могут при достаточной плотности превосходить силы любой природы, даже давление электронного Ферми-газа. Что тогда произойдет? Здесь, оказывается, существуют две возможности. Если масса не слишком велика, то вещество достигнет таких давлений, когда уже не электронные оболочки атомов, а сами атомные ядра распадутся на протоны и нейтроны, из которых они состоят. Кроме того, в веществе должны присутствовать и атомные электроны, чтобы компенсировать положительный заряд протонов. Таким образом получается смесь трех Ферми-газов: электронного, протонного и нейтронного — ядер-



ные частицы тоже подчиняются принципу Паули. На самом деле при плотности, превосходящей ядерную, как показал в 1936 году Л. Д. Ландау, более равновесное состояние достигается, когда протоны объединяются с электронами, так что вещество целиком состоит из частиц одного сорта — нейтронов. Звезда из такого вещества, имея массу, как у Солнца, приобретает радиус 10—15 км.

Энергетические состояния Ферми-газа при малой плотности (слева) и плотности, превосходящей ядерную. Так как радиусы Ферми-сфер в единицах импульса $p = mv$ для любых частиц одинаковы, предельные скорости при абсолютном нуле обратно пропорциональны массам. Энергия равна половине произведения массы на квадрат скорости или обратно пропорциональна массе при данном значении импульса. Следовательно, кинетическая энергия электронного газа при равной плотности в 1840 раз больше, чем протонного или нейтронного газа. В свою очередь, нейтрон имеет несколько большую собственную энергию, чем протон. Поэтому при большой плотности наименьшая энергия получится, если вещество будет в нейтронной форме, без электронов, а при малой плотности — электроны и протоны существуют раздельно. «Большая» плотность во много раз выше, чем в обычных условиях в атомном ядре (10^{14} г/см³)

Свойства нейтронной звезды исследованы теоретически. Благодаря действующим в ней гигантским гравитационным силам, сдерживающим ее как одно целое, поверхность такой звезды может находиться в твердом состоянии (твердое состояние отличается от жидкого тем, что сопротивляется деформации). Внутренность нейтронной звезды остается жидкой, обладая притом совершенно особыми свойствами. Мы интуитивно привыкли считать плотную жидкость очень вязкой. А нейтронная звезда внутри лишена вязкости и в этом смысле напоминает жидкий гелий при температуре ниже двух градусов от абсолютного нуля*.

Не надо думать, что все сказанное о нейтронных звездах — догадки или, как говорят о мало обоснованных высказываниях в науке, спекуляции. Во-первых, свойства нейтронного вещества изучались на основании хорошо разработанных физических теорий. Во-вторых, можно считать почти доказанным, что пульсары и есть нейтронные звезды. Если твердая кора нейтронной звезды как-либо разрушается за счет внутренней неустойчивости аналогично коре нашей планеты во время землетрясений, то из-

* В. Л. Гинзбург. Что такое пульсары? «Земля и Вселенная», № 2, 1970 г. (Прим. ред.)



за быстрого вращения неоднородность периодически то появляется на «видимой» стороне звезды, то исчезает. Проверять эту гипотезу астрономическими наблюдениями, можно в принципе подтвердить или опровергнуть ее. А это и есть необходимое свойство всякой научной гипотезы, в данном случае гипотезы о природе пульсаров.

Непроверяемость — основной признак ненаучных гипотез, среди которых одно из виднейших мест в настоящее время занимает предположение о множестве внеземных цивилизаций. Автору кажется, что различные симпозиумы по этому вопросу служат только для приятного провождения времени.

У звезды очень большой массы даже давление нейтронного Ферми-га-

за не способно противостоять гравитационной силе. Такая звезда сжимается неограниченно. Согласно общей теории относительности Эйнштейна, она перестает посылать световые сигналы в окружающее пространство и превращается в черную дыру.

Но и черная дыра, несмотря на зловещее название, не призрак, а наблюдаемый небесный объект! Ее гравитационное действие на другие небесные тела не пропадает. Будучи партнером обычной звезды в двойной системе, черная дыра влияет на ее видимое движение. Причем в принципе можно установить, что на обычную звезду влияет именно черная дыра, а не просто темный спутник. В окрестности черной дыры световые лучи звезды проходят особым образом, что порождает явления, обнаруживае-

мые уже в настоящее время. Газ, падающий в поле тяготения черной дыры, разогревается до сотни миллионов градусов и излучает в рентгеновском диапазоне. Есть основания думать, что первая черная дыра уже обнаружена*.

Так или иначе, квантовые законы движения вместе с эйнштейновской теорией тяготения позволяют изучать вещество в состояниях, весьма далеких от привычного нам земного состояния. Причем теоретические построения доступны наблюдательной проверке. Все это очень важно для создания единой физической картины мира.

* И. Д. Новиков. Законы физики и новые открытия в астрофизике. «Земля и Вселенная», № 2, 1973 г. (Прим. ред.)

СПИРАЛЬНЫЕ РУКАВА И АКТИВНОСТЬ ЯДЕР ГАЛАКТИК

Последние исследования галактик принесли новое поразительное открытие. Оказалось, что активность ядер не является привилегией только узкого класса сейфертовских галактик. Ядро нашей Галактики тоже активное: в направлении галактического центра открыты облака во-

дорода, движущиеся со скоростями около 600 км/сек. Этот газ, выбрасываемый из ядра, оптически не виден. Его можно обнаружить лишь при детальном изучении распределения нейтрального водорода, принимая радиоизлучение с длиной волны 21 см.

Недавно голландские радиоастрономы П. ван дер Круит, Я. Оорт и Д. Мэтьюсон, построив карту распределения нейтрального водорода для галактики NGC 4258, обнаружили, что газ в этой галактике образует четкие спиральные ветви. Они закручены в ту же сторону, что и звездные спиральные рукава, однако совершенно не совпадают с ними. Характерно, что «радиорукава» служат продолжением светящихся газовых выбросов, которые наблюдаются в центральной части галактики. Скорость истечения газа из ядра равна примерно 800—1600 км/сек.

Очевидно, что «радиорукава» образованы газом, выбрасываемым из ядра в течение последних десятков

миллионов лет. Масса газа, сосредоточенная в этих рукавах, составляет около 10—100 млн. солнечных. Массы звездных спиралей галактики в 10—100 раз больше. Поэтому едва ли можно говорить о формировании новых спиральных рукавов галактик из вещества, выбрасываемого ядром. Однако, учитывая, что масштабы активности ядер могут быть существенно больше, нельзя исключить и такой возможности образования рукавов. С другой стороны, выбросы могут играть роль начального возмущения, которое стимулирует появление спиральных рукавов в однородном галактическом диске. Активность ядра может проявляться неоднократно на протяжении жизни галактики, что приводит к образованию новых спиралей. Многорукавные галактики, действительно, широко распространенное явление.

«Astronomy and Astrophysics», 21, 2, 1972.





Изменения климата

ЧЕЛОВЕК И КЛИМАТ

Влияние человека на климат начало проявляться уже несколько тысяч лет назад. Во многих районах для обработки земли уничтожались леса, что приводило к увеличению скорости ветра у земной поверхности, некоторому изменению температуры и влажности нижнего слоя воздуха, а также меняло режим влажности почвы, испарения и речного стока. В засушливых районах на протяжении многих столетий применялось искусственное орошение. Орошение заметно увеличивает испарение, что понижает температуру и повышает относительную влажность воздуха. Наблюдения показали, что влияние вырубки лесов и орошения на метеорологические условия ограничены только изменениями местного климата.

В последние десятилетия воздействие человека на метеорологический режим усилилось. Это связано, в частности, с широким развитием полесозащитного лесоразведения, осушением заболоченных районов и строительством водохранилищ.

Полесозащитные лесные полосы снижают скорость ветра на междурядных полях и ослабляют интенсивность вертикальных движений воздуха вблизи земной поверхности. Это оберегает от возможных пыльных бурь летом и задерживает снег зимой. Осушение переувлажненных территорий обычно оказывает на климат действие, обратное орошению: уменьшается влажность почвы, повышается ее температура, уменьшается испарение. Некоторые изменения климата наблюдаются и в районах крупных водохранилищ. При их создании уменьша-

Каким станет климат через 50 или 100 лет? Однозначно ответить на этот вопрос непросто. В публикуемой статье читателю предлагается один из возможных вариантов эволюции климата.

ется шероховатость земной поверхности, что способствует усилению ветра. Создание водного бассейна обычно приводит также к уменьшению суточных колебаний температуры и увеличению испарения. Все это, однако, не оказывает заметного влияния на глобальный климат, то есть на климат всей нашей планеты.

Существуют и другие пути влияния хозяйственной деятельности человека на атмосферные процессы, которые могут привести к глобальным изменениям климата. Известно, что ежегодно сжигаются миллиарды тонн угля и нефти, в результате чего в атмосферу поступает громадное количество углекислого газа. Если бы весь углекислый газ сохранился в атмосфере, его концентрация быстро бы росла. Однако постоянный обмен углекислотой между атмосферой и океаном (который может поглотить большое количество углекислого газа) не дает поступающей углекислоте полностью задерживаться в атмосфере. Имеющиеся данные показывают, что за последние десятилетия количество углекислоты в атмосфере возросло на 10—15% и что сейчас это количество продолжает возрастать приблизительно на 0,2% в год.

Углекислый газ оказывает определенное влияние на термический режим атмосферы. Поскольку он почти

не задерживает коротковолнового солнечного излучения, приходящего к земной поверхности, но заметно ослабляет длинноволновое тепловое излучение, уходящее в мировое пространство, температура у земной поверхности повышается. Выполненные расчеты показывают, что к концу нашего века такое повышение температуры может составить около 0,5 градуса.

Среди других последствий хозяйственной деятельности человека можно назвать рост производства энергии. Вся энергия, потребляемая человеком, в конечном счете превращается в тепло, причем основная его часть служит дополнительным источником энергии для Земли, что повышает ее температуру.

Из всех более или менее значительных компонент современного потребления энергии человеком только гидроэнергия и энергия, заключенная в древесине и продуктах сельскохозяйственного производства, представляют собой преобразование энергии солнечной радиации, ежегодно поглощаемой Землей. Расход таких видов энергии не меняет теплового баланса Земли и не приводит к дополнительному нагреванию. Эти виды энергии как бы «консервируются» на сравнительно короткое время и затем возвращаются в атмосферу в виде тепла. Так, например, солнечная энергия, затраченная на создание килограмма древесины, будет выделена в виде тепла, когда эта древесина сгорит, как топливо, или же когда соответствующее дерево погибнет и сгниет в лесу. Однако указанные виды энергии составляют небольшую часть (менее



20%) от всей суммы энергии, потребляемой человеком. Другие виды — энергия угля, нефти, природного газа, а также атомная — это источники тепла, не зависящие от преобразований энергии солнечной радиации современной нам эпохи.

Выполненные расчеты показывают, что создаваемое сейчас количество такого дополнительного тепла повышается в год среднюю температуру воздуха у земной поверхности приблизительно на $0,01^\circ\text{C}$. Эта величина незначительна, однако при большой неравномерности размещения на поверхности земли созданных человеком источников энергии в отдельных районах такое повышение температуры может быть гораздо большим. Будь атмосфера неподвижной, в наиболее развитых промышленных районах температура возросла бы на величину около градуса, а в больших городах — на десятки градусов, что сделало бы жизнь там невозможной. Влияние атмосферной циркуляции значительно ослабляет соответствующее повышение температуры, причем это ослабление тем сильнее, чем меньше площадь, на которой сконцентрировано производство дополнительной тепловой энергии. Однако и такое ослабление не спасает города от некоторого «перегрева» — средняя температура воздуха в больших городах часто на несколько градусов выше, чем в окружающих районах.

Известно, что мировое производство энергии возрастает на 5—6% в год. Принимая во внимание эту оценку, то есть полагая и в дальнейшем такой рост производства энергии, можно найти, что к середине следующего столетия средняя температура

воздуха над всей Землей повысится на несколько градусов.

Для выяснения климатических условий будущего большое значение имеет ответ на вопрос: в какой мере современный климат устойчив по отношению к сравнительно малым начальным изменениям температуры воздуха, которые распространяются на большие территории? Несколько лет тому назад, в результате изучения материалов измерений с метеорологических спутников отражательной способности (альbedo) различных областей Земли, было высказано предположение о возможности резкого усиления малых начальных колебаний климата из-за изменения площади морских полярных льдов.

Данные наблюдений с метеорологических спутников показали, что альbedo в областях с ледяным и снежным покровом, в среднем, примерно вдвое больше альbedo для районов без снежного покрова. Таким образом, ледяной покров значительно уменьшает поглощение солнечной радиации и в результате этого снижает температуру воздуха в том районе, где он находится. Следовательно, ледяной покров является не только следствием холодных климатических условий, но и в некоторой мере их причиной. В связи с этим, уменьшение площади льдов может способствовать потеплению климата, что, в свою очередь, будет влиять на дальнейшее уменьшение ледяного покрова.

Такой механизм может значительно усиливать сравнительно малые начальные изменения температуры воздуха, создаваемые хозяйственной деятельностью человека.

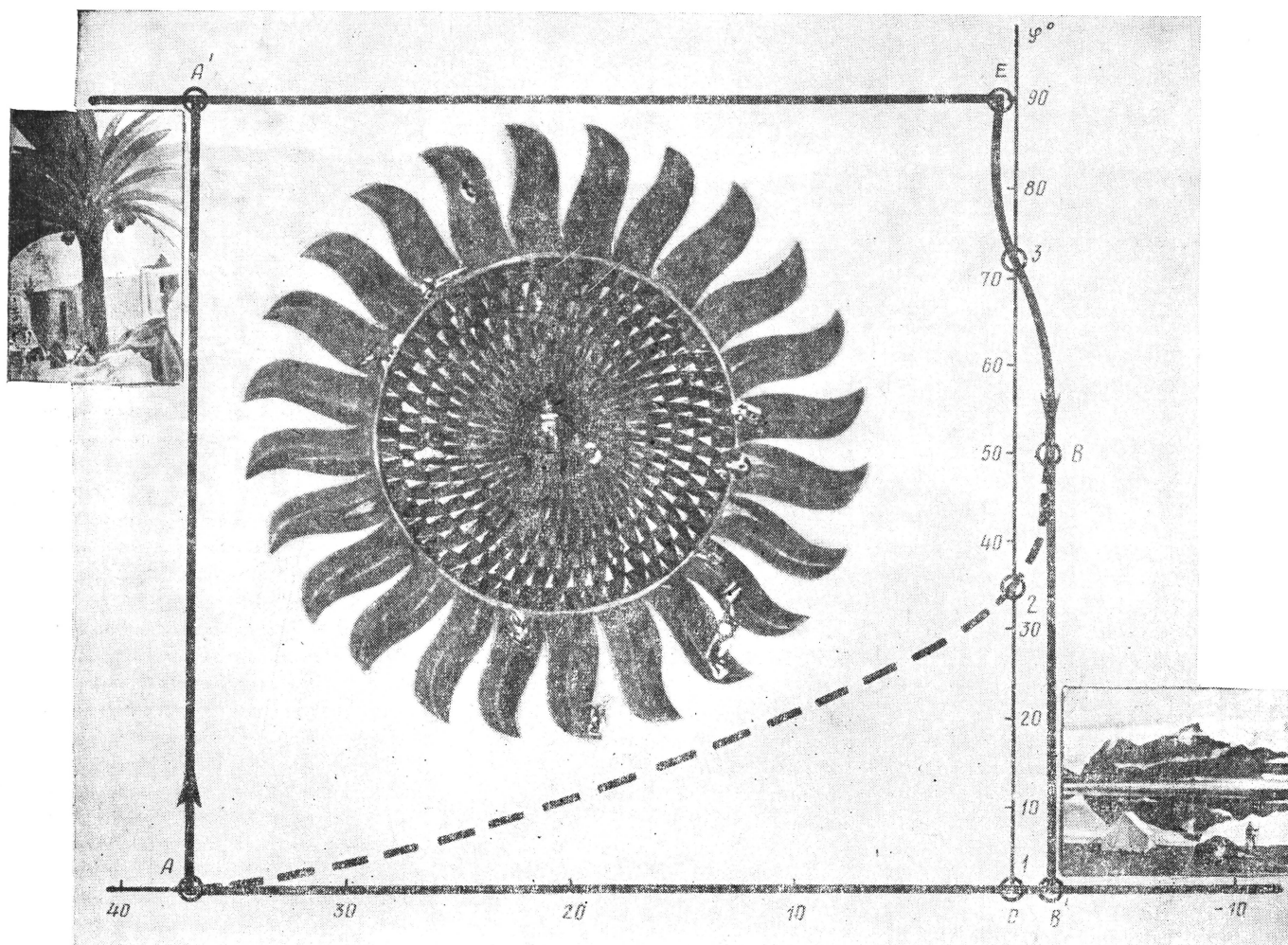
ЗАКОНОМЕРНОСТИ КЛИМАТА

Для количественного расчета климатических условий будущего с привлечением зависимости между термическим режимом и полярными льдами необходимы численные модели теории климата.

В последние годы были получены многие существенные результаты в разработке общих моделей теории климата.

Однако задача построения теории климата оказалась чрезвычайно сложной, пока не удалось получить ее решения, позволяющего учесть влияние всех основных климатообразующих факторов без использования в этом решении эмпирических данных о некоторых элементах климата. Поэтому были сделаны попытки разработать сильно схематизированные полуэмпирические модели теории климата, основанные на анализе материалов о тепловом балансе земной поверхности и атмосферы.

Создание таких моделей оказалось возможным в результате прогресса, достигнутого в исследованиях теплового баланса земного шара, то есть в изучении преобразований солнечной энергии на земной поверхности и в атмосфере. В ходе этих исследований были рассчитаны для всех районов земного шара величины прихода солнечной энергии, ее поглощения на поверхности Земли и в атмосфере, расхода энергии длинноволновым излучением в мировое пространство. Были найдены также количества энергии, расходуемой на испарение с земной поверхности и выделяемой в результате конденсации водяного пара в атмосфере, переносимой воздушными



Зависимость средней широты границы полярного ледяного покрова в северном полушарии (φ) от изменений притока солнечной радиации к внешней границе атмосферы $\frac{\Delta Q}{Q}$. Из-

менение притока солнечного тепла откладывается по горизонтальной оси: увеличение — влево от точки 1, а уменьшение — вправо. Как только приток тепла возрастет, режим оледенения на земном шаре меняется. Он становится очень неустойчивым (точка А), и малейший рост притока тепла приводит к полному таянию льдов (точка А'). Следуя вправо от точки А', что соответствует уменьшению притока тепла, мы окажемся на безледной Земле. В точке Е приток тепла близок к современному, здесь полярное оледенение, зарождаясь, быстро растет (точка 3) и достигает 50° с. ш. (точка В)

и морскими течениями. Исследования теплового баланса позволили построить мировые карты всех его основных составляющих, характеризующих перечисленные выше процессы преобразования солнечной энергии.

Используя материалы о тепловом балансе, в работах автора*, американских ученых Б. Селлеса, А. Фегера и других, оказалось возможным построить полуэмпирические теории климата, в которых была учтена связь между термическим режимом атмосферы и ледяным покровом.

Применение разработанных полуэмпирических моделей термического

режима позволило получить новые выводы о закономерностях климата, которые во многом отличаются от традиционных представлений о генезисе климата.

Некоторые результаты расчетов, выполненных при использовании указанных моделей, приведены на графике зависимости полярного ледяного покрова в северном полушарии от прихода радиации на внешнюю границу атмосферы. Величина $\frac{\Delta Q}{Q}$ показывает относительное изменение притока солнечной радиации к внешней границе атмосферы, выраженное в процентах, φ — среднюю широту границы полярного ледяного покрова в северном полушарии. Зависимость φ от $\frac{\Delta Q}{Q}$ изображена системой линий,

* М. И. Будыко. Влияние человека на климат. Гидрометеиздат, 1972 г.

которые показывают, что эта связь имеет неоднозначный характер и что она существенно различается для случаев увеличения и уменьшения притока тепла к внешней границе атмосферы.

Рассмотрим случай увеличения притока тепла от начального малого значения. При малых притоках тепла Земля вся покрыта льдом ($\varphi = 0^\circ$) и это оледенение сохраняется с увеличением притока тепла до его современного значения, примерно равного $2 \text{ кал/см}^2\text{мин}$ (точка 1) и до величины, превышающей указанное значение на несколько десятков процентов (точка А). После этого происходит полное таяние льдов и создается безледный режим (точка А'), который сохраняется при дальнейшем росте притока тепла.

При уменьшении притока тепла от начального значения, существенно превосходящего солнечную постоянную, сначала отмечаются условия безледного режима, а затем после достижения современного климатического режима, при уменьшении притока тепла на величину около 2% от наблюдаемого сейчас значения, ледяной покров достигает 50° с. ш. Режим оледенения здесь неустойчив и при малом уменьшении притока тепла переходит к режиму полного оледенения, который сохраняется при дальнейшем снижении притока тепла.

Используя упомянутые выше модели, можно получить и другую зависимость между величинами φ и $\Delta Q/Q$, изображенную пунктирной кривой АВ на рисунке. Так как для этой кривой характерен рост значений φ при уменьшении $\Delta Q/Q$ (или наоборот), то ясно, что она соответствует неустой-

чивым режимам оледенения: полное оледенение сменяется повсеместным таянием льда при малых колебаниях притока тепла. Современному значению притока тепла на этой кривой соответствует точка 2.

Графическая зависимость полярных оледенений от притока тепла имеет вид гистерезисной петли, отрезки которой АА' и ВВ' относятся к случаям увеличения и уменьшения притока тепла, что показано на рисунке стрелками. Другие отрезки гистерезисной петли, соответствующие устойчивым режимам оледенения, могут характеризовать зависимость φ от $\Delta Q/Q$ как при увеличении, так и уменьшении притоков тепла.

Таким образом, при современном поступлении солнечной энергии возможны три климатических режима, из которых наиболее устойчив режим полного оледенения планеты. Выполненные расчеты показывают, что в этом случае средние температуры воздуха у земной поверхности на всех широтах равны нескольким десяткам градусов ниже нуля.

Существующий сейчас климатический режим очень чувствителен к малым изменениям приходящей радиации. Если радиация уменьшится только на 2% — наступит режим полного оледенения планеты, если же увеличится на несколько десятых долей процента — произойдет полное таяние полярных льдов.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ

Как известно, характерной чертой последнего (четвертичного) геологического периода была большая изменчивость климата в умеренных и

высоких широтах. Палеогеографические данные показывают, что температура воздуха в этих широтах временами значительно снижалась и развивались ледяные покровы, занимавшие большие пространства на суше и океанах. В периоды потеплений ледяные покровы отступали в высокие широты, а возможно, и полностью исчезали. Почему это происходило?

Предположения некоторых авторов о том, что в это время значительно изменилась солнечная постоянная или другие факторы, существенно влияющие на климат, не имеют достаточного обоснования. В течение четвертичного периода больших изменений внешних климатообразующих факторов, по-видимому, не происходило. Можно считать несомненным влияние на климат четвертичного периода только изменения количества радиации, получаемой различными широтными зонами Земли в отдельные сезоны, из-за изменений положения земной поверхности относительно Солнца, которое зависит от эксцентриситета земной орбиты, наклона оси вращения Земли к плоскости орбиты и времени наступления равноденствий. Все указанные астрономические элементы периодически меняются, что приводит к некоторому изменению количества радиации, получаемой земной атмосферой на различных широтах в отдельные сезоны. Эти изменения могут быть рассчитаны с довольно большой точностью для последних десятков тысяч лет и с меньшей точностью — для более отдаленных интервалов времени.

Следует отметить, что вопрос о влиянии астрономических факторов на режим оледенений до последнего



времени оставался неясным. Для его решения необходимо использовать численную модель, позволяющую рассчитать положение ледяных покровов в зависимости от внешних климатообразующих условий. Предположение о том, что такие изменения могли привести к развитию оледенений, было высказано в первой половине прошлого века Адемаром. Впоследствии этот вопрос изучался в ряде исследований, из которых особого внимания заслуживают работы М. Миланковича. Миланкович отметил хорошее согласование времен развития оледенений с периодами снижения радиации в теплое время года в зоне умеренных и высоких широт.

Однако найденные Миланковичем изменения величин радиации оказались сравнительно небольшими и он не мог доказать, что именно они вызывают существенные перемещения границ полярных ледяных покровов. Вот почему до последнего времени многие исследователи отрицали возможность влияния астрономических факторов на четвертичные оледенения.

Применяя полуэмпирическую модель термического режима атмосферы, можно выполнить расчет положения средней границы полярных льдов для периодов, когда под влиянием астрономических факторов приход радиации за теплое полугодие в высоких широтах заметно уменьшается.

Некоторые результаты выполненных расчетов приведены в таблице. Как следует из данных этой таблицы, колебания радиационного режима, вызванные изменениями в положении земной поверхности относительно Солнца, могут приводить к существен-

ным изменениям климата. При этом средняя планетарная температура колеблется незначительно, она снижается по сравнению с современной температурой не более чем на 1°C . Однако даже такое небольшое изменение сопровождается заметным перемещением границ ледяных покровов.

Из выполненных расчетов следует, что при современном положении средней широтной границы льдов в северном полушарии, близком к 72° с. ш., наибольшее смещение границы льдов здесь достигало 12° , а в южном полушарии при современной границе на 63° ю. ш. — 5° .

КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СМЕЩЕНИЕ ГРАНИЦЫ ЛЬДОВ В ЭПОХИ ОЛЕДЕНЕНИЙ

Время в тыс. лет до 1800 г. н. э.	$\Delta t_{\text{с}}$ — уменьшение средней широты границы полярных льдов в северном полушарии по сравнению с ее современным положением	$\Delta t_{\text{ю}}$ — уменьшение средней широты границы полярных льдов в южном полушарии по сравнению с ее современ- ным положением	ΔT — изменение средней температуры теплового по- лугодия на 65° с. ш.
22,1 (Вюрм III)	8	5	—5,2
71,9 (Вюрм II)	10	3	—5,9
116,1 (Вюрм I)	11	2	—6,5
187,5 (Рисс II)	11	0	—6,4
232,4 (Рисс I)	12	—4	—7,1

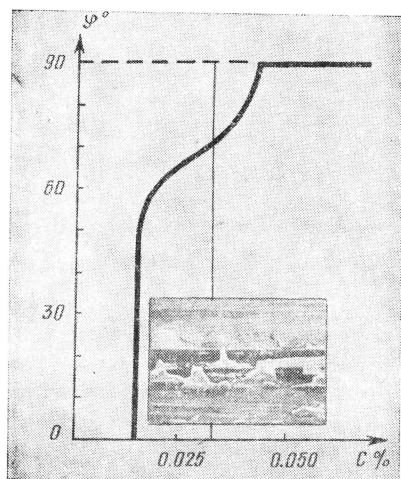
В зоне, куда проникал ледяной покров, происходило значительное снижение температуры. Так, на 65° с. ш. при наступлении льдов средняя температура теплового полугодия снижалась на $5\text{—}7^{\circ}\text{C}$. Следует отметить, что эта величина характеризует снижение температуры на уровне моря. Над сушей, покрытой мощным ледяным чехлом, снижение температуры на уровне поверхности льдов было более значительным.

Можно отметить, что полученное в расчете максимальное значение средней широты, до которой доходил ледяной покров в северном полушарии, хорошо согласуется с эмпирическими данными. Так, например, известно, что при наибольшем оледенении средняя граница льдов в северном полушарии достигала 57° с. ш. Это соответствует смещению границы по сравнению с современными условиями на 15° . Найденная в нашем расчете аналогичная величина составляет 12° , что достаточно близко к эмпирическому значению.

Заслуживает внимания вопрос: почему четвертичные оледенения возникли после длительной эпохи, когда температура воздуха в полярных широтах была сравнительно высокой и там оледенений не существовало?

В конце XIX века Т. Чамберлин высказал предположение, что причиной возникновения или развития полярных оледенений могло быть уменьшение концентрации углекислого газа в атмосфере. Как отмечено выше, уменьшение количества углекислоты ослабляет парниковый эффект, что приводит к снижению температуры у земной поверхности.

Имеющиеся исследования показы-



вают, что изменение концентрации углекислого газа вдвое может изменить среднюю температуру у земной поверхности приблизительно на 2° . Такие оценки получены, однако, без учета обратной связи между термическим режимом атмосферы и полярными льдами. Принимая во внимание эту связь, в рамках упомянутой выше полуэмпирической модели термического режима атмосферы, можно получить вывод о том, что влияние изменений концентрации углекислоты на температуру у земной поверхности существенно превосходит указанную выше оценку. Использование этой модели показывает, что сравнительно небольшие колебания концентрации углекислого газа могут значительно изменить среднюю температуру у земной поверхности и привести к пе-

Зависимость средней широты границы полярного ледяного покрова в северном полушарии (φ) от концентрации углекислого газа (C) в объемных процентах. Для полного таяния полярных льдов достаточно увеличения концентрации углекислого газа на величину, менее половины ее современного значения, равного $0,032\%$. Уменьшение концентрации углекислого газа вдвое по сравнению с ее современным значением может привести к полному оледенению Земли

ремещению границы полярных ледяных покровов на большие расстояния.

Геохимические исследования подтверждают мнение о том, что на протяжении многих миллионов лет концентрация углекислоты в атмосфере постепенно снижалась. Если эта концентрация была выше $0,042\%$, то полярные оледенения не могли образоваться. При снижении концентрации ниже указанного значения должны были возникнуть полярные оледенения, которые разрастались, когда уменьшался приток радиации в высоких широтах в теплое время года, и отступали, когда этот приток увеличивался, в соответствии с изменениями положения земной поверхности относительно Солнца.

БУДУЩЕЕ ЗЕМЛИ

При обсуждении вопроса о климатических условиях будущего следует прежде всего остановиться на тех изменениях климата, которые могут произойти в результате его естественной эволюции, без влияния деятельности человека. Можно думать, что если процесс уменьшения концентрации углекислоты в атмосфере будет продолжаться, то он может привести к увеличению полярных оледенений и, в конечном счете, к полному оледенению планеты.

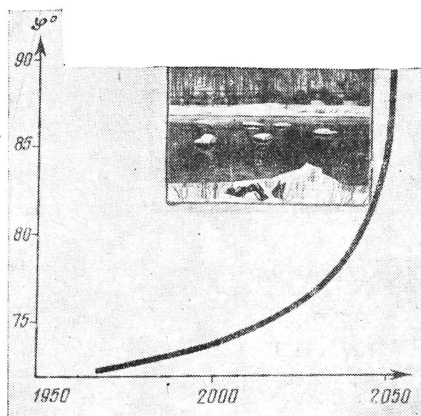
Попробуем оценить интервал времени, в течение которого может произойти такое изменение природных условий. Концентрация углекислого газа в атмосфере до начала ее повышения в результате хозяйственной деятельности человека, по-видимому, была близка к $0,028\%$. Эта величина на $0,014\%$ меньше того значения, при котором, в соответствии с нашими

данными, могли возникнуть полярные оледенения.

Таким образом, концентрация углекислоты уменьшилась на $0,014\%$ за интервал времени, близкий длительности плейстоцена, то есть примерно за один миллион лет. Если количество углекислоты в атмосфере будет уменьшаться с такой же скоростью и дальше, то критическое значение концентрации углекислоты, равное $0,015\%$, при котором возможно полное оледенение планеты, будет достигнуто через миллион лет.

Эта оценка, однако, не учитывает влияния развития оледенений в эпохи уменьшения прихода радиации в полярных широтах, о чем говорилось выше. Принимая во внимание периодические изменения астрономических факторов, мы должны будем сократить вероятное время возникновения полного оледенения до нескольких сот тысяч лет. Такой вывод основан на многих приближенных допущениях и в связи с этим не является точным. В частности, условный характер имеет приведенная выше оценка скорости убывания количества углекислоты в атмосфере. Отметим, однако, что независимо от точности этого вывода влияние человеческой деятельности на климат делает заключение о будущем оледенении Земли весьма маловероятным.

Сжигая большие и все возрастающие количества топлива, человек изменил направление процесса эволюции химического состава атмосферы и чрезвычайно увеличил скорость его. Можно отметить, что в современную эпоху концентрация углекислоты в атмосфере возрастает в тысячи раз быстрее по сравнению со средней ско-



ростью ее убывания в геологическом прошлом. Это, вместе с ростом производства энергии, способствует повышению температуры воздуха у земной поверхности и отступанию полярных ледяных покровов.

Количественный расчет вероятных изменений климата под влиянием деятельности человека связан с многими трудностями, которые еще не преодолены в современных исследованиях. Так, например, известно, что под влиянием хозяйственной деятельности человека растет количество пыли в атмосфере, что, по-видимому, сказывается и на термическом режиме. Однако предсказать количество пыли в будущем по ряду причин затруднительно.

Точность оценок климатических условий будущего снижается ограниченной точностью имеющихся сейчас моделей теории климата, которые основаны на многих приближенных допущениях.

Следует, однако, надеяться, что некоторые черты климатических условий будущего можно установить даже

Изменение средней широтной границы морских полярных льдов в северном полушарии (Ф) под влиянием роста концентрации углекислоты и увеличения производства энергии. Как видно из этого графика, полярные льды могут заметно отступить к северу в конце нашего века и полностью растаять в середине следующего столетия

при современном уровне знаний в этой области.

Можно, в частности, думать, что при сохранении современных темпов роста производства энергии сравнительно скоро (вероятно, не позже чем через сто лет) будет достигнут «тепловой барьер», то есть произойдет значительное повышение температуры воздуха. Одним из последствий такого изменения термического режима будет сначала отступление, а затем полное разрушение полярных ледяных покровов. Можно также заключить, что из-за высокой чувствительности современного климата к малым колебаниям климатообразующих факторов заметные изменения климатических условий могут наступить и ранее «теплого барьера», то есть в течение ближайшего столетия. Как отмечено выше, количественный расчет таких изменений климата по ряду причин выполнить трудно, имеются лишь некоторые оценки возможных последствий влияния деятельности человека на климат.

Учитывая, как велико практическое значение возможных последствий глобальных изменений климата, необходимо уже теперь получить точные сведения о них заранее. Этим объясняется большой интерес, который проявляют ученые в последние годы к проблеме изменений климата.

Сравнительно недавно состоялось несколько международных научных форумов, посвященных указанной проблеме. Она обсуждалась, в частности, на симпозиуме по физической климатологии в 1971 году в Ленинграде и на состоявшемся в том же году совещании в Стокгольме, где ученые 14 стран подготовили монографию

«Ненаправленное преобразование климата».

Создаваемые деятельностью человека изменения климата на больших территориях выдвинут ряд сложных международных проблем, решение которых будет возможно только при тесном сотрудничестве ученых различных государств. Значение такого сотрудничества еще более возрастет, когда будут разработаны проекты регулирования глобального климата в наиболее благоприятном для человечества направлении. Первые идеи такого проекта уже обсуждаются в научной литературе.

ПОЛНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Одной из тем, выполняемых в ходе подготовки и осуществления Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП)*, является комплексный энергетический эксперимент (КЭНЭКС).

Задача КЭНЭКС состоит, во-первых, в исследовании переноса энергии и всех видов притока тепла в замкнутом объеме тропосферы горизонтальной протяженностью 200—300 км, во-вторых, в разработке методики учета неадиабатических факторов общей циркуляции атмосферы.

* А. С. Мокин. Глобальная атмосферная исследовательская программа. «Земля и Вселенная», № 1, 1969 г.

Доктор физико-математических наук
Л. М. ОЗЕРНОЙ

Ядра квазаров и активных галактик

Первый комплексный эксперимент проходил в октябре 1970 года в Средней Азии, в районе пустыни Каракум (КЭНЭКС-70). В июне — июле 1971 года экспедиция Института физики атмосферы АН СССР отправилась в Западный Казахстан — 80 км южнее Уральска (КЭНЭКС-71). Участники этой экспедиции измеряли и более детально изучали турбулентные потоки тепла. Они проводили самолетные измерения турбулентных потоков тепла и количества движения в пограничном слое и прямые определения турбулентных тепловых потоков, потоков влаги, а также оценивали количество движения в приземном слое атмосферы.

Программа «Полный радиационный эксперимент» включала измерения спектрального распределения лучистого притока тепла за счет коротковолновой радиации. Этими измерениями обнаружено аэрозольное поглощение. Прямые аэрозольные измерения показали, что в воздухе пустыни коротковолновое излучение поглощают минеральные частицы промышленного происхождения. Полученные результаты свидетельствуют о большой актуальности исследований микроструктуры и оптических характеристик естественного и индустриального аэрозоля для решения проблемы воздействия хозяйственной деятельности человека на климат. Удалось выполнить радиационный эксперимент и при сплошной облачности, и при безоблачном небе.

На ближайшие годы планируются экспедиционные работы по программе «Комплексного энергетического эксперимента», направленные на исследование проблемы влияния хозяйственной деятельности человека на климат («индустриальный» КЭНЭКС). В этом научном мероприятии примут участие и специалисты, изучающие атмосферные загрязнения. Предусматривается также проведение КЭНЭКС над морем («морской» КЭНЭКС).

«Метеорология и гидрология», 11, 1972.

В настоящее время еще нет ни законченной теории, ни даже общепринятой рабочей модели источника энергии в квазарах и ядрах галактик. Вместе с тем, положение далеко от удручающего, каким оно казалось в начале 60-х годов, на заре исследований квазаров.

Весной 1963 года произошло одно из наиболее значительных событий в астрофизике XX века — были открыты квазары. Их активность (переменное нетепловое излучение мощностью до 10^{46} — 10^{47} эрг/сек, выбросы газовых масс и релятивистских частиц), сочетающаяся с исключительной компактностью источника этой активности, оказалась в энергетическом отношении беспрецедентной. Стремительно углубляющиеся исследования интенсивных компактных космических объектов стали, наряду с космологической проблемой и физикой элементарных частиц, одним из коренных и наиболее обещающих направлений развития в современном естествознании.

Открытие квазаров дало мощный толчок комплексному изучению активности галактик. Едва ли не самым важным результатом прошедшего десятилетия было установление того факта, что феномены, качественно совпадающие с квазарными, встречаются в ядрах галактик различных типов. Это имело два важных следствия. Во-первых, значительно уменьшились сомнения в космологической интерпретации красных смещений квазаров (последующее открытие вокруг ряда квазаров и родственных объектов га-

лактик с тем же красным смещением, образующих группы или скопления, дало уже прямое подтверждение этой интерпретации). Во-вторых, стало весьма вероятным, что квазары — это особая форма или особая стадия галактик и что активность квазаров и ядер галактик различных типов имеет, по-существу, общее происхождение.

Какова же природа источника этой активности? Данная статья — краткий обзор современных подходов к решению этой важнейшей проблемы.

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ

Крайняя скудость фактов, которыми располагала внегалактическая астрофизика к моменту открытия квазаров, давала простор самым необузданным спекуляциям. За минувшие десять лет ситуация радикально изменилась. Многочисленные свидетельства в пользу космологического происхождения красных смещений квазаров и единства природы активности у квазаров и ядер галактик сделали достоянием истории одно за другим большинство из ранних наивных представлений. Почти одновременно произошло и своеобразное насыщение «банка» новых теоретических гипотез о природе активности. В самом деле, среди предложенных за последние годы гипотез трудно указать такую, которую, отвлекаясь от ее деталей, нельзя было бы отнести к той или иной концепции, сформулированной еще в первые несколько лет после открытия квазаров. По-видимому, это и означает, что существует ограниченное число возможностей построения внутренне непротиворечивой модели, объясняющей совокупность наи-



более существенных наблюдательных данных на основе установленных физических законов.

Любая модель источника активности должна удовлетворять следующим ограничениям, вытекающим из наблюдений: для источника с массой $M = 10^4$ — 10^9 солнечных освобождаемая энергия должна составлять не слишком малую долю от Mc^2 , а время жизни источника должно быть не меньше 10^5 или 10^8 лет. Правда, тот факт, что сейфертовские галактики составляют около 1% спиральных галактик, иногда рассматривают как указание на то, что активная фаза сейфертовских ядер длится до 10^8 лет. Однако, если активная фаза в жизни галактического ядра неоднократно повторяется, то из статистики ядер следует лишь, что 10^8 лет — среднегармоническое время жизни, то есть может иметь место, например, 100 активных фаз, длительность каждой из которых около 10^6 лет, а интервал следования примерно 10^8 лет.

Все гипотезы об источнике активности ядер галактик и квазаров, серьезно обсуждающиеся до настоящего времени в научной периодике, можно отнести к одной из трех основных концепций:

компактное звездное скопление, где происходят столкновения звезд или вспышки массивных звезд (сверхновых или им подобных);

сверхмассивное коллапсировавшее тело (черная дыра), на которое падает окружающий газ;

сверхмассивное вращающееся магнитоплазменное тело, называемое магнитоидом, спинаром, гигантским пульсаром и т. д.

Во всех перечисленных концепциях внешние параметры источника активности, если говорить пока лишь о грубых оценках, мало отличаются: масса источника порядка 10^8 — 10^9 солнечных, а радиус около 10^{16} — 10^{17} см (радиус Солнца $7 \cdot 10^{10}$ см).

В отношении структуры источника активности (но не механизма его энерговыделения) приведенная классификация очень упрощена. Откладывая обсуждение реальной структуры источника и его окружения на конец статьи, мы рассмотрим вначале наиболее существенный вопрос о механизме выделения энергии и ее превращении в основные формы активности для каждой из названных концепций.

КОМПАКТНОЕ ЗВЕЗДНОЕ СКОПЛЕНИЕ

Многие авторы постулируют, что звездная плотность в ядрах галактик и квазаров настолько высока, что там часто происходят столкновения звезд. В другом варианте этой концепции считается, что звездные столкновения большей частью происходили в прошлом.

В зависимости от характера столкновений, существуют два пути выделения энергии. Если звезды имеют большие относительные скорости, то, сталкиваясь, они разрушаются, причем освобождающаяся при каждом столкновении кинетическая энергия составляет 10^{51} эрг на одну солнечную массу. Если же начальная относительная скорость звезд мала по сравнению с параболической скоростью на поверхности звезды, то в результате столкновения звезды мо-

гут «слипаться» в более массивные и, проэволюционировав, в конце концов вспыхивать как сверхновые. Предполагается, что такие вспышки, приводящие к образованию скопления из нейтронных звезд, могли бы объяснить радиопеременность компактных источников в квазарах и ядрах галактик.

Основная трудность модели компактного звездного скопления как источника энергии состоит в том, что звездная плотность, при которой столкновения становятся существенными, слишком велика (вплоть до 10^{11} солнечных масс в 1 пс^3). Не ясно, достигаются ли такие величины в ходе нормальной эволюции ядер галактик. Так, наблюдаемая звездная плотность в ядре галактики Андромеды, согласно Я. Оорту, не превосходит 10^7 солнечных масс в 1 пс^3 . Далее, численные расчеты эволюции звездного скопления с массой 10^7 — 10^8 солнечных обнаруживают большие энергетические трудности этой концепции. Например, максимальная светимость, которую могут обеспечить вспышки звезд, образовавшихся в результате слипания, не превышает 10^{42} эрг/сек, тогда как полная светимость ядер ряда сейфертовских галактик достигает 10^{44} эрг/сек.

Еще более сильное противоречие возникает при попытке объяснить светимость квазаров. Л. И. Гудзенко, В. Е. Чертопруд и автор сопоставили модели оптической переменности как результата независимых случайных звездных вспышек с имеющимися данными об оптической переменности квазара 3C 273 более чем за 80 лет и показали, что эти модели отвергаются надежными статистически-

ми методами с очень высокой достоверностью.

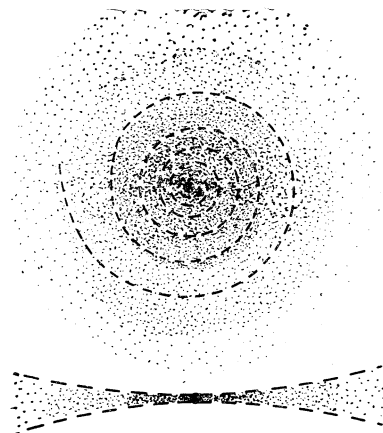
Второй вариант этой концепции, приводящий к скоплению нейтронных звезд, может быть отвергнут иным методом. Дело в том, что химический состав детально изученных газовых оболочек квазаров 3С 273 и 3С 48 близок к химическому составу газа и многих звезд Галактики. Между тем обнаружены значительные аномалии химического состава ряда сверхновых вблизи момента их вспышек. Сравнение обилий железа в сверхновой и, скажем, в оболочке квазара 3С 273 позволяет сильно ограничить число возможных вспышек сверхновых в этом квазаре. Их число оказывается меньшим $5 \cdot 10^2$, а средняя скорость образования сверхновых не превосходит $5 \cdot 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-4}$ вспышек в год, в зависимости от принимаемого возраста оболочки 3С 273 ($10^3 - 10^6$ лет). В любом случае полученные верхние пределы значительно ниже частоты вспышек сверхновых, требуемых для объяснения одновременно мощности оптического излучения квазара и амплитуды его флуктуаций. Подобное ограничение на число нейтронных звезд, а следовательно, и на частоту вспышек сверхновых можно получить и для ядер сейфертовских и других активных галактик, где не наблюдается сколько-нибудь больших аномалий химического состава.

Таким образом, хотя объяснение активности ядер галактик и квазаров в результате множества вспышек сверхновых или любых массивных звезд кажется на первый взгляд очень естественным, более детальный анализ вскрывает несоответствие этой концепции данным наблюдений.

ЧЕРНАЯ ДЫРА

Гравитационный коллапс был предложен уже среди первых гипотез об источнике мощной энергии. Эта идея, угаснув на несколько лет, сейчас переживает свое второе рождение, теперь уже под новым именем «черной дыры». Привлекательность черной дыры как источника энергии обусловлена следующими причинами. Во-первых, образование рано или поздно сверхмассивной черной дыры в центре галактики в результате коллапса газа или компактного скопления звезд кажется неизбежным в рамках общей теории относительности. Во-вторых, выделение энергии при сжатии ограничено лишь величиной $0,42 \text{ Мс}^2 = 10^{54} (\text{М}/\text{М}_\odot)$ эрг — пределом, даваемым теорией. Этот предел очень велик для больших масс. Основная проблема состоит в отыскании длительно работающего механизма высвобождения этой энергии, так как коллапс сам по себе протекает за очень короткое время, порядка $10^3 (\text{М}/10^8 \text{ М}_\odot)$ секунд. Я. Б. Зельдович, Э. Солпитер, а затем более детально Д. Линден-Белл показали, что падение (аккреция) вещества на черную дыру может служить необходимым источником энергии. Высказано предположение, что подобная черная дыра с массой от 10^4 до 10^8 солнечных находится в центре нашей Галактики и с аккрецией на нее связано исходящее из центра радио- и инфракрасное излучение.

В концепции черной дыры, на которую падает газ, предполагается, что межзвездный газ, медленно отдавая свой угловой момент, навивается по спирали на центральную черную дыру



и освобождаемая энергия обеспечивает стационарное излучение. Для объяснения же взрывного освобождения энергии необходим процесс другого рода. Его предложил Р. Пенроуз в 1969 году. Представим себе некоторую частицу (например, звезду), которая встречается с массивной черной дырой и распадается так, что одна часть падает на черную дыру, а другая покидает ее с большей энергией, приобретенной за счет вращения дыры. Хотя такого рода извлечение энергии из вращающейся черной дыры, в принципе, возможно, оно требует, как показывает подробный анализ, условий, вряд ли реализуемых в действительности.

Конечно, пока далеко не все свойства черных дыр известны и, тем более, исследованы в деталях. Вместе с тем уже сейчас можно утверждать, что сопоставление данных наблюдений с изученными свойствами черных дыр обнаруживает ряд существенных трудностей. Укажем лишь некоторые из них.

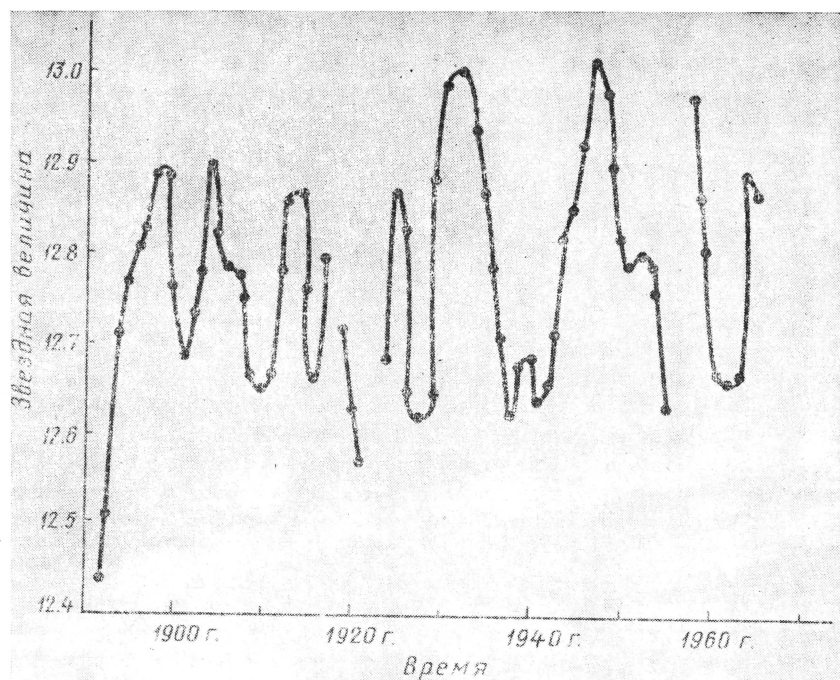
Во-первых, как неоднократно подчеркивал В. А. Амбарцумян, в ядрах галактик наблюдается только извержение вещества, но не его па-

Вращающийся газовый диск вокруг черной дыры (вид сбоку и сверху). Пунктиром показана траектория газа, падающего на черную дыру

дение. Наблюдаемые весьма существенные потоки истечения (около одной солнечной массы в год из ядра нашей Галактики, 10—100 солнечных масс в год из ядер некоторых сейфертовских галактик) не объясняется концепцией черной дыры. К тому же выброс газа из ядер квазаров и сейфертовских галактик обладает мощностью до 10^{45} эрг/сек — много больше той, начиная с которой истечение газа способно вообще предотвратить аккрецию. Конечно, логически мыслимо падение в одних направлениях, а выбросов — в других, но эта возможность представляется довольно искусственной.

Во-вторых, в разработанных моделях черной дыры показывается, что излучение массивного газового диска, нагретого выделяемой при аккреции энергией, сконцентрировано преимущественно в оптическом и ультрафиолетовом диапазонах. Если диск погружен в пылевое облако сравнительно больших размеров, пыль может переизлучать в инфракрасной области. Однако свойства этого теплового излучения не соответствуют инфракрасному излучению квазаров и активных ядер, спектр и поляризация которого указывают на его явно не-тепловую природу. Более того, обнаруженная у некоторых объектов переменность на длине волны 10—20 мк с характерным временем от нескольких месяцев до недель исключает пылевое происхождение излучения, так как эта переменность несовместима с большими размерами пылевого облака.

В-третьих, излучение черных дыр ожидается флуктуирующим. Однако поиски таких флуктуаций блеска у



квазара 3C 273 оказались безрезультатными.

Перечисленные трудности, так же как и ряд других, не упомянутых здесь, позволяют заключить, что аккреция газа на черную дыру не объясняет некоторых существенных свойств активных ядер.

КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОГО ТЕЛА

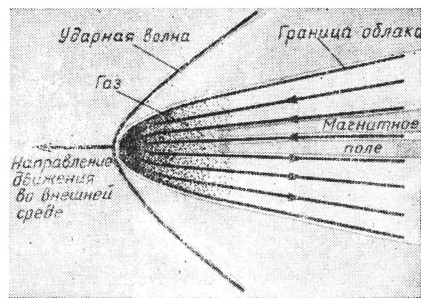
Какие наблюдения свидетельствуют в пользу единого тела? Основным аргумент — квазипериодический характер изменения блеска активных ядер. Таковы, например, изменения блеска у квазара 3C 273. Квазипериодическое поведение блеска обнаруживают и некоторые другие квазары, сейфертовские и N-галактики, переменность которых детально изучалась. Квазипериодические, или циклические, изменения блеска явно противоречат ги-

потезам о независимых случайных вспышках, происходящих в квазарах и активных ядрах галактик.

Данные о радиоструктуре внегалактических радиоисточников показывают, что часть из них содержит по две пары компонент, которые расположены на одной оси и окружают галактику, лежащую приблизительно посередине. Этот факт естественнее объяснить наличием единого, а не многих источников, порождающих радиокомпоненты.

В последние годы существенно пополнились наши представления о природе самих радиоизлучающих компонент. Сейчас считается весьма вероятным, что пара таких радиоизлучающих облаков выбрасывается в противоположных направлениях из ядра радиогалактики или квазара и движется с огромной скоростью сначала через межзвездный, а затем через межгалактический газ, испытывая значительный «скоростной напор» разреженной внешней среды. Помимо релятивистских электронов, испускающих в магнитном поле радиоволны, облако со-

Кривая блеска квазара 3C 273 на протяжении последних 80 лет, сглаженная с промежутком в два года. Блеск квазипериодичен с характерным временем около 10 лет



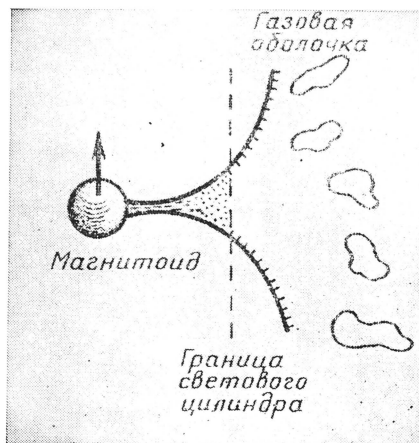
держит значительную массу горячего газа (до 10^6 — 10^7 солнечных масс). Лишь часть его «нагребена» в процессе движения. Выброс столь значительных масс из ядра вряд ли совместим с представлением об источнике активности как агломерате дискретных звездных масс какой бы то ни было природы (вспыхивающих, сверхновых, нейтронных и т. п.) или как об аккрецирующей черной дыре.

Наконец, очень информативны и данные о радиопеременности. В квазаре 3C 279 последовательные радиовспышки имеют одно и то же направление линейной поляризации, и это показывает, что они возникают, вероятнее всего, в единой области, а не в различных областях источника.

Таким образом, трудности уже рассмотренных моделей, а также ряд наблюдательных данных свидетельствуют, что активность квазаров и ядер галактик может быть обусловлена неким единым телом. Познакомимся с различными вариантами его моделей.

Первой и простейшей моделью единого тела как источника энергии была невращающаяся сверхмассивная звезда, поддерживаемая лучистым давлением. Теория таких звезд, впервые предложенная в 1963—1964 годах Ф. Хойлом и В. Фаулером, к настоящему времени детально разработана Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым. Согласно этой теории, из-за малого запаса устойчивости такие сверхзвезды должны быстро стать коллапсирующими объектами. Их свойства (например, преимущественно тепловая светимость) плохо соответствуют не-тепловой активности ядер.

Между тем сверхмассивное тело, обладающее вращением и магнит-



Схематическая модель радиоизлучающего облака (по Миллсу и Стурроку)

Схематическое строение энергоядющей области квазара. В центре области находится магнитоид. С его поверхности вследствие ротационной неустойчивости истекает плазма. Вблизи границы «светового цилиндра», где скорость вращения магнитных силовых линий достигает световой, плазма растекается, обволакивая магнитоид. Эта плазма поглощает магнитодипольное излучение магнитоида, и ее частицы ускоряются до релятивистских энергий. Ускоренные релятивистские электроны излучают в магнитном поле синхротронным механизмом, причем максимум излучения лежит в инфракрасном диапазоне. Показана облачная структура газовой оболочки. Звезды же компактной галактики, окружающие магнитоид, не изображены

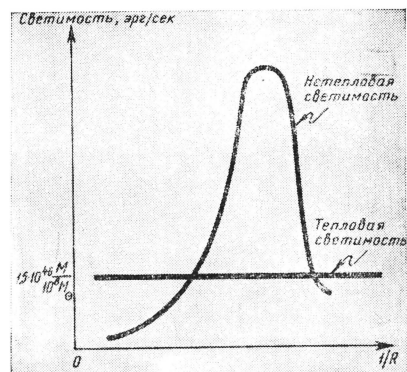
ным полем, по своим свойствам радикально отличается от невращающихся. В наиболее общем случае равновесие тела поддерживается вращением (точнее, вращательноподобным движением), магнитным полем и давлением радиации; такое тело автор назвал **магнитоидом**. В зависимости от вклада тепловой радиации, существуют две предельные ситуации — горячая и холодная. В первом случае форма тела ближе к сфере; во втором — к очень тонкому диску. Для каждой из таких ситуаций сейчас изучены различные конфигурации частного вида, обладающие разной геометрией магнитного поля и характером вращения. Сверхмассивные сфероидальные и дисковые конфигурации как модели источника активности не следует противопоставлять друг другу, поскольку они могут быть связаны генетически и описывать разные стадии эволюции активного ядра. Скорее всего, такое ядро, бывшее при своем формировании более или менее сферическим, приобретает дисковую форму на последних стадиях жизни.

Одна из конкретных реализаций магнитоида, у которой структура, электродинамика и ряд процессов, включая эволюцию, могут быть подробно рассчитаны, благодаря относительной простоте модели представляет собой сверхмассивный наклонный ротатор с очень сильным магнитным полем. Такая модель, недавно исследованная В. В. Усовым и автором, объясняет ряд существенных свойств активных ядер и квазаров, в том числе их мощное инфракрасное излучение. Это излучение ожидается переменным. Переменность

обусловлена пульсирующим характером истечения материи из магнитоида вследствие конкуренции двух механизмов потери углового момента — истечения материи и натяжения магнитных силовых линий. Изменения светимости в радио, оптике и рентгене могут быть коррелированы с изменениями в инфракрасном диапазоне, но с некоторым сдвигом фаз.

Если магнитосфера магнитоида находится в состоянии неоднородного вращения (что, по-видимому, имеет место на ранней фазе его активности), возможны специфические магниторотационные взрывы с выбросом релятивистских частиц и плазмы. На более поздних стадиях, когда магнитное поле уже велико, неоднородное вращение сглаживается, и мы имеем наклонный ротор с приблизительно жестким вращением. Тем не менее, пульсирующий характер истечения и взаимодействие истекающей материи с низкочастотным излучением тоже могут производить повторяющиеся выбросы облаков релятивистских электронов в двух противоположных направлениях. Такие выбросы могут быть причиной наблюдаемого переменного радиоизлучения активных ядер и квазаров.

Релятивистские частицы, закручиваясь в магнитном поле газа, своим давлением ускоряют газ. Малые массы (меньше ста солнечных), покидающие ротор при пульсирующем истечении, ускоряются как целое до больших скоростей, вплоть до световой. Этот процесс повторяющихся выбросов газа может быть ответственным за множественность оболочек у квазаров. Он же способен объяснить повторяющиеся выбросы массивных об-



лаков газа из ядер сейфертовских галактик со скоростями порядка тысяч километров в секунду.

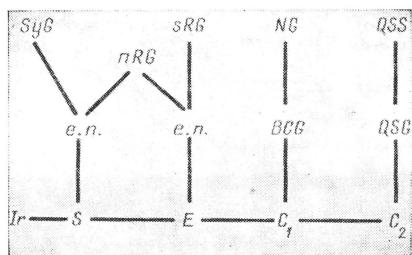
«ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ» ГАЛАКТИК

Существует замечательное сходство между внегалактическими объектами, такими как квазары и квазизвездные галактики, N-галактики и голубые компактные галактики, сильные радиогалактики и D-галактики, сейфертовские галактики и нормальные спиральные галактики. Это сходство позволяет считать квазары, N-галактики, сильные радиогалактики и сейфертовские галактики «сверхвозбужденными состояниями», соответственно, квазизвездных, голубых компактных, D- и нормальных спиральных

галактик. Под «возбужденным состоянием» галактики понимается образование в ее ядре магнитоида, а под «сверхвозбужденным» — стадия эволюции магнитоида, на которой нетепловая светимость во много раз больше тепловой. Голубые компактные галактики и квазизвездные галактики представляют собой промежуточные «возбужденные состояния», аналогичные «возбужденным ядрам» в тех нормальных галактиках, где открыты компактные источники нетеплового излучения. Галактики, в ядрах которых отсутствуют феномены активности, находятся в «основном состоянии». «Основным состоянием» N-галактик и квазаров предположительно являются наиболее массивные компактные галактики.

Галактики в «основном состоянии» генетически не связаны друг с другом. Иными словами, эволюция вдоль хаббловской последовательности галактик отсутствует. Переходы между различными состояниями галактик ожидают только в вертикальном направлении. Переход вверх соответствует возрастанию нетепловой светимости, затем достигается «потолок» возбуждения (что соответствует стадии сейфертовских галактик, мощных радиогалактик, а также N-галактик и квазаров), после чего нетепловая светимость падает и следует переход вниз, в «основное состояние» галактики. Модель сверхмассивного наклонного ротора позволяет оценить отношение числа объектов, у которых нетепловая светимость значительно превосходит тепловую, к числу объектов с тепловой светимостью, большей или равной нетепловой. Это отношение составляет 10^{-2} и очень сла-

Вековое изменение светимости сверхмассивного наклонного ротора в зависимости от его радиуса R. Тепловая светимость определяется лишь массой ротора, нетепловая связана с потерей вращательной энергии из-за торможения (например, вследствие магнитодипольного излучения). Достижение максимума нетепловой светимости и последующий ее спад обусловлены сближением магнитной и вращательной осей. Аналогично выглядит поведение нетепловой светимости во времени, так что ожидаемое вековое изменение активности ядер галактик и квазаров представляет некое «возгорание», достижение максимума активности и последующее ее затухание



бо зависит от массы ротатора. Такой вывод находится в качественном согласии с наблюдаемым отношением квазаров к квазизвездным галактикам, N-галактик к голубым компактным галактикам, мощных радиогалактик к D-галактикам, сейфертовских к нормальным спиральным галактикам. Сравнительно небольшая доля объектов в «сверхвозбужденном состоянии» объясняется кратковременностью пребывания ядер галактик в состоянии, когда нетепловая светимость значительно превышает тепловую.

ОДНОКРАТНАЯ ИЛИ ПОВТОРЯЮЩАЯСЯ АКТИВНОСТЬ

Очень важно получить бесспорные аргументы в пользу того, что различные внегалактические объекты, кото-



Расширенная хаббловская последовательность галактик, содержащая как хаббловскую последовательность: неправильные галактики (Ir), спиральные (S) и эллиптические (E), так и открытые впоследствии новые типы или состояния галактик: сейфертовские галактики (SyG), нормальные радиогалактики (nRG), мощные радиогалактики (sRG), нормальные галактики с возбужденными ядрами (e. n.), голубые компактные галактики (BCG), N-галактики (NG), квазизвездные галактики (QSG), квазары (QSS). Галактики, обозначенные C_1 и C_2 , как ожидается, могут находиться среди наиболее массивных компактных объектов и предположительно отвечают начальным и конечным состояниям N-галактик и квазаров. Галактики Цвикки и Маркаряна не включены в эту последовательность, так как среди них имеются объекты различных типов и эволюционных стадий

рые мы считаем «сверхвозбужденными состояниями» галактик, представляя собой особую стадию, а не особую форму галактик. Это, фактически, общепризнано в отношении сильных радиогалактик, которые рассматриваются как стадия в жизни ярких эллиптических галактик. То же, по-видимому, верно и в отношении сейфертовских галактик, в пользу чего сейчас есть немало данных.

Если сейфертовские, N-галактики, мощные радиогалактики и квазары представляют собой действительно лишь активные стадии галактик (а не особые «монстры» среди галактик), то наблюдаемая активность, скорее всего, должна быть повторяющейся. Для радиогалактик на это указал И. С. Шкловский в 1962 году. Последующие наблюдения дали новые примеры повторяемости не только для радиогалактик, но и для ядер сейфертовских галактик (Э. А. Дибай и В. И. Проник).

РОЖДЕНИЕ И СМЕРТЬ МАГНИТОИДА

Повторяемость активных стадий в ядрах галактик не нашла до сих пор объяснения в концепциях компактного звездного скопления и черной дыры. Обратимся к обсуждению этой проблемы в концепции магнитоида.

Теоретически рассчитанное время жизни магнитоида около 10^6 лет. Как же происходит воспроизводство нового источника активности? Любопытно, что ответ на этот вопрос был подготовлен более 30 лет назад, когда стало ясно, что в галактических ядрах должен накапливаться газ, потерянный звездами. Процесс стекания газа к ядру неизбежен, но возможен лишь на стадии «спокойного» ядра. Недавно И. С. Шкловский особо отметил

роль планетарных туманностей. Полная потеря массы звездами, включая сверхновые, возможно, составляет около одной солнечной массы в год. Этот газ в конце концов падает в галактический центр. Поскольку звездная плотность много больше начальной плотности накапливающегося газа, звездообразование в падающем газе невозможно. Когда выполняется противоположное неравенство (плотность газа превосходит звездную), в ядре может сформироваться единый объект очень большой массы, зависящей от типа «родительской» галактики (главным образом, от массы ее сферической составляющей и углового момента газа). Полная продолжительность свободного падения газа на галактический центр составляет 10^8 лет при звездной плотности около 10^{-25} г/см³. В течение этого времени в ядре может накопиться газовая масса вплоть до 10^8 солнечных. Формирование из этого газа источника активности с временем жизни 10^6 лет препятствует дальнейшему стеканию газа. Следовательно, отношение продолжительности «возбужденной» и «спокойной» фаз порядка 10^{-2} , что находится в соответствии со статистикой активных ядер.

КАКОВА ДАЛЬНЕЙШАЯ СУДЬБА МАГНИТОИДА?

Значительная часть массы магнитоида теряется за счет истечения при ротационной неустойчивости. Этот газ отбрасывается вовне и на «спокойной» фазе может вновь медленно аккумулироваться к центру. Однако таким путем не может быть потеряна вся масса. Для оставшейся массы существуют только три возможности:



коллапс, неколлапсирующий диск (например, из нейтронных звезд) и ядерный взрыв диска. Хотя эти возможности неравноправны, пока не ясно, какая из них предпочтительнее. Напомним, что большое количество нейтронных звезд едва ли совместимо с более или менее нормальным химическим составом оболочек квазаров. Ядерный взрыв диска даже весьма большой массы возможен, однако не ясно, совместим ли химический состав продуктов взрыва (например, обилие гелия) с наблюдаемым составом.

С теоретической точки зрения только черная дыра не приводит к очевидным противоречиям с наблюдениями, если ее масса достаточно мала. Черная дыра малой массы вряд ли заметно повлияет на сверхмассивное тело, формирующееся в центре на «спокойной» фазе галактического ядра. В результате магнитоид второго и последующего поколений, в центре которого, в принципе, могла бы образоваться одна или несколько черных дыр с общей массой, гораздо меньшей массы магнитоида, по своим свойствам будет не слишком отличаться от магнитоида первого поколения, то есть идеального магнитоида без черной дыры. С другой стороны, такой гибрид совершенно непохож на обычно обсуждаемую черную дыру, окруженную газовым диском с массой, много меньшей массы черной дыры. О несоответствии ее свойств с наблюдениями уже шла речь выше.

Аналогичные соображения можно высказать в отношении звезд, расположенных в центральной части активного ядра или квазара. Как уже упоминалось, звезды (сверхновые, вспыхивающие и т. п.) не играют существ-

венной роли в наблюдаемой активности ядер. Тем не менее, звезды, скорее всего, присутствуют не только в активном галактическом ядре, но и в квазаре, являющемся особой компактной галактикой. Звезды, возможно, дают некоторый вклад в гравитационный потенциал центральной части активного источника, но едва ли существенны для его светимости.

Итак, астрофизические данные свидетельствуют о возможности повторяющегося воспроизводства магнитоида на «спокойной» фазе галактического ядра из газа, выбрасываемого звездами, а также натекающего из межгалактической среды. Соображения больше космогонического, чем астрофизического характера, указывают также, что реалистическая модель источника активности ядер галактик и квазаров, по-видимому, представляет собой компактную звездную систему, в центре которой находится магнитоид, содержащий, возможно, черную дыру сравнительно небольшой массы. Магнитоид играет ведущую роль в происхождении наблюдаемых форм активности.

КОСМОГОНИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МАГНИТОИДА

Какова судьба газа, выброшенного из магнитоида? Этот газ расширяется и охлаждается. Охлаждение способствует его тепловой и гравитационной неустойчивости, в то время как расширение действует в противоположном направлении. При некоторых условиях возможна фрагментация газа и дальнейшее превращение его в звезды. Следовательно, активность магнитоида может привести к эффек-

тивному пути образования новых звездных систем.

Отметим некоторые специфические особенности звездной системы, которая образовалась из плазмы, выброшенной магнитоидом:

формируется не только сферическая подсистема (при взрыве), но и плоская (при истечении);

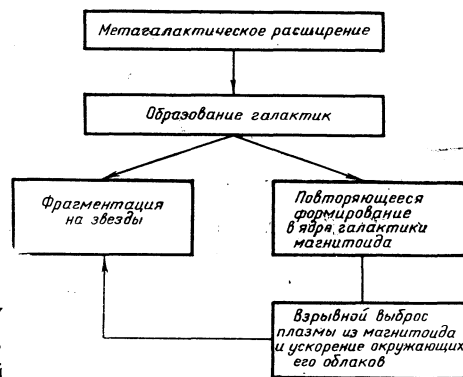
истекающая плазма обладает удельным моментом, поэтому плоская подсистема вращается;

дисперсия возрастов звезд, рожденных повторяющимися взрывами в галактическом ядре, порядка возраста самой галактики.

Возможно, что магнитоиду в некоторых случаях достаточно выступить в роли катализатора, стимулирующего звездообразование в уже имеющемся газе без впрыскивания туда большого количества нового «строительного материала». Это относится, в частности, к формированию пылевой полосы. Газ, сжатый ударной волной, может быстро конденсироваться в пыль, которая оседает к плоскости галактики. Пыль же, как известно, стимулирует звездообразование. Сказанное иллюстрирует косвенную роль взрыва на ускорение звездообразования.

Известны, хотя и относительно немногочисленные, примеры галактик и их малых групп, высокие скорости в которых дают основания говорить о недавней активности. В. А. Амбарцумян в 1965 году подчеркнул космогоническую важность этих примеров. Он высказал предположение о происхождении таких галактик в результате дробления сверхплотных тел и распространил эти идеи на образование нормальных галактик и их скоплений.

Попытки найти подтверждение этим



представлениям предпринял в 1967 году Х. Арп, указавший много случаев близкого расположения на небесной сфере квазаров и пекулярных галактик, что, по его мнению, объясняется выбросами квазаров из галактик. Однако во многих работах была показана статистическая недостоверность какой-либо физической связи между ними. Ныне, при все возрастающих свидетельствах в пользу космологической природы красных смещений квазаров, становится ясным, что введенные Арпом примеры обусловлены капризами случайной проекции. С другой стороны, представляют значительный интерес некоторые иные случаи, когда малые компаньоны, локализованные вблизи больших галактик, можно рассматривать как продукты взрывного выброса из ядер «родительских» галактик.

Возможно, что объяснение этих явлений следует искать в выбросах из ядра галактики облаков и струй, которые после охлаждения претерпевают фрагментацию и дают начало звездным системам, а также в ускорении давлением космических лучей намагниченных газовых облаков, окружающих магнитоид.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Квазары и активные феномены в ядрах галактик рассматриваются сейчас либо как ранняя фаза рождающейся галактики, либо как финальная стадия (коллапс) звездной системы. Истинное положение вещей, скорее всего, не является ни тем, ни другим. Феномен активности ядра, по-видимому, вторичен по отношению к галактике как целому и может повторяться на протяжении ее жизни, чередуясь с

фазами более или менее «спокойного» состояния ядра. Что касается природы энерговыделения на фазе активности, то мы больше знаем о том, какие классы моделей не способны удовлетворительно объяснить многообразие этой активности. Представляется, однако, что в этом отношении астрофизика сейчас ближе к цели, чем десятилетие назад.

К настоящему времени сохранились лишь три правдоподобные возможности объяснить, не выходя за рамки установленных физических законов, природу источника энергии, причем не все из этих возможностей одинаково вероятны. Модели источника в виде скопления компактных тел звездной массы (будь это вспышки или нейтронные звезды), а также в виде сверхмассивной черной дыры, на которую падает газ, противоречат одним свойствам наблюдаемой активности и не объясняют других. Трудности, с которыми встречаются эти концепции, — хорошая иллюстрация того, что кажущаяся неизбежность далеко не всегда оказывается реализованной в природе.

По совокупности данных, как наблюдательных, так и теоретических, наиболее обещающей моделью источника активности представляется сверхмассивное вращающееся замагниченное тело (магнитоид), располо-

женное в сердцевине активного галактического ядра или квазара. Возможность объяснить с этой точки зрения ряд принципиальных свойств активности дает основания для определенного оптимизма. Однако не следует его переоценивать. Проблема квазаров и галактических ядер так сложна, что новые открытия могут заставить взглянуть на нее совершенно по-иному. Сюрпризы, разочарования, новые поиски и надежды еще впереди.

НОВЫЕ КНИГИ

В 1973 году Атомиздат выпускает монографию Л. М. Озерного, О. Ф. Прилуцкого и И. Л. Розенталя «Астрофизика высоких энергий». Монография подводит определенный итог современному состоянию астрофизики высоких энергий — области науки, лежащей на стыке физики высоких энергий и традиционной астрофизики.

Книга состоит из семи глав. В первой изложены проблемы, связанные с нестационарными процессами в галактиках, природой активности ядер галактик и квазаров, «горячей» Вселенной, межгалактической средой, происхождением и эволюцией галактик. Во второй главе рассматриваются элементарные взаимодействия электронов и фотонов, в третьей — физика частиц высоких энергий, в четвертой — кинетика электронов в магнитных полях, в пятой — электронная компонента галактических космических лучей, в шестой — фоновое электромагнитное излучение Метагалактики и в седьмой — космические лучи сверхвысоких энергий.

Книга рассчитана на студентов старших курсов и специалистов в области физики и астрономии. Ее можно заказать в Атомиздате.

Схема двух возможных путей звездообразования в галактике



«Луноход-2» исследует Луну

Прошло немногим более двух лет с того дня, когда на лунной поверхности проложила первую колею самоходная автоматическая лаборатория «Луноход-1». Почти 10 месяцев «Луноход-1» бороздил просторы Моря Дождей, передавал фотопанорамы, выполнял химические анализы грунта... Этот эксперимент значительно обогатил наши знания о естественном спутнике Земли и показал перспективность дальнейшего исследования Луны и планет самоходными автомобилями.

За последние годы ученые составили представление об основных чертах рельефа Селены. Теперь можно более определенно говорить о природе лунных морей и материков, этапах эволюции лунной поверхности и процессах, которые преобразуют лик Луны. Однако значительная часть проблем геологии, морфологии и истории развития поверхности Луны еще далеки от своего решения. Необходимы новые сведения и результаты сравнительного изучения как наиболее характерных, так и частных особенностей различных участков лунной поверхности, удаленных друг от друга на значительные расстояния.

Преимущество космической автоматики заключается прежде всего в длительности функционирования аппаратов. Селенологи получают разнообразную информацию о больших участках выбранного района Луны. Становятся возможными маршрутные исследования лунной поверхности, позволяющие четко и последовательно определять физико-механические свойства грунта во многих пунктах маршрута, выявлять особенности химического состава пород вдоль трас-

сы, получать представление о микро-рельефе и мощности реголита. Так постепенно вырисовывается целостная картина исследуемого района с детальными характеристиками его основных черт.

ЧТО СООБЩИЛ «ЛУНОХОД-1»

Автоматическая станция «Луноход-1» прилунилась в западной части Моря Дождей. Первая же панорама «Лунохода-1» показала типичный лунный морской ландшафт.

В районе работы «Лунохода-1» средняя плотность распределения кратеров, пересчитанная на площадь 10^6 км^2 , составляет: для кратеров диаметром более 500 м — около $3 \cdot 10^4$, для кратеров диаметром более 1 км — около $4 \cdot 10^3$.

«Луноход-1» был первым самодвижущимся автоматом на лунной поверхности, поэтому особенно большое внимание уделялось отработке всех систем аппарата и проверке правильности инженерно-технических решений. Экипаж «Лунохода-1» приобрел ценный опыт управления аппаратом. Луноход оказался очень надежной машиной.

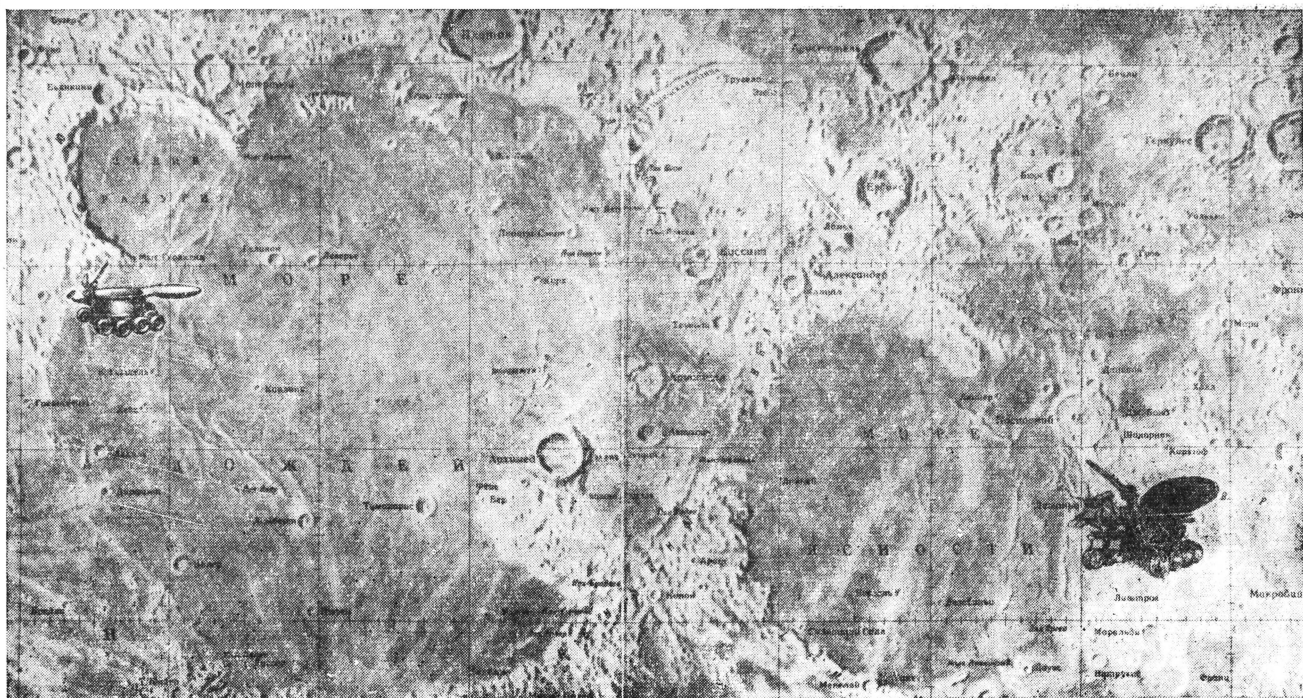
На полученных «Луноходом-1» панорамах вырисовываются кратеры нескольких типов. Селенологи расположили кратеры в ряд по степени выраженности от наиболее свежих и четко выраженных каменных до сильно измененных, лишенных вала и камней. Такой непрерывный морфологический ряд отражает этапы эволюции кратеров. В основе их эволюции лежат процессы разрушения лунной поверхности за счет микрометеоритной эрозии и перемещения мате-

риала на склонах. Морфологический анализ подтвердил концепцию преимущественно ударно-взрывного происхождения исследованных кратеров. Собранный обширный статистический материал по распределению кратеров и камней на лунной поверхности позволил оценить относительный возраст кратеров и последовательность их образования. Оказалось, что морфологическая эволюция камней — это звено в общей эволюции микро-рельефа лунной поверхности. Изучение морфологии лунного грунта и его физико-механических свойств (которое проводилось на больших площадях) значительно расширило наши представления о процессах формирования реголита.

«ЛУНОХОД-2» В КРАТЕРЕ ЛЕМОНЫЕ

16 января 1973 года советская автоматическая станция «Луна-21» совершила мягкую посадку в прибрежном районе Моря Ясности и доставила на лунную поверхность новый самоходный аппарат «Луноход-2».

Море Ясности — одно из типичных круглых морей в северо-восточной части видимой стороны Луны. К востоку от Моря Ясности находятся горы Тавр, за ними простираются обширные материковые области с сильно расчлененным и испещренным кратерами рельефом. Наземные наблюдения и анализ фотоснимков, сделанных с космических аппаратов, показывают, что лавовые породы затопили гигантскую впадину Моря Ясности приблизительно 3 млрд. лет назад (возраст района посадки «Лунохода-1» оценивается примерно в 3,5 млрд. лет). Мощность лавовых покровов в Море Ясности, по-видимому, исчисляется



несколькими километрами, но значительно уменьшается в периферии.

Для посадки «Луны-21» была выбрана своеобразная «гавань» — кратер Лемонье диаметром 55 км. Это весьма примечательное образование в краевой зоне Моря Ясности. Кратер находится на границе морской равнины и материка. Он представляет собой естественный залив Моря Ясности в материковой области. Днище кратера Лемонье отделено от основной морской поверхности рядом невысоких (до 200 м) лавовых пологих валов, которые входят в кольцевую систему, окаймляющую морскую равнину. Кратер лежит среди гигантских борозд Литтров и Шакорнак.

Борозды и трещины вообще характерны для краевой зоны материкового рельефа, они свидетельствуют о грандиозных тектонических нарушениях и подвижках, происходивших в период формирования Моря Ясности.

Юго-восточная и восточная границы кратера Лемонье с материком довольно резкие, здесь материк обрывается уступом в 1,5—2 км. Непосредственно у пункта посадки «Лунохо-

да-2» материковая поверхность возвышается на 800—1000 м. Кратер Лемонье окружает значительно расчлененный рельеф с участками полого-волнистых возвышенностей, покрытых кратерами. Материк здесь буквально изборозжен сеткой трещин и разломов.

Светлые возвышенности, составляющие материковую область, сложены породами, которые отличаются более древним возрастом и другим составом, чем породы на дне кратера Лемонье. На этом участке «Луноход-2» может помочь ученым изучить сразу две генетически разные поверхности — морскую и материковую, сравнить их геологическое строение. Здесь открываются большие возможности для оценки взаимодействия процессов, происходящих в морской и материковой областях, для установления характера перехода одной геологической структуры в другую.



Фрагмент лунной карты с обозначением участков работы «Лунохода-1» и «Лунохода-2»

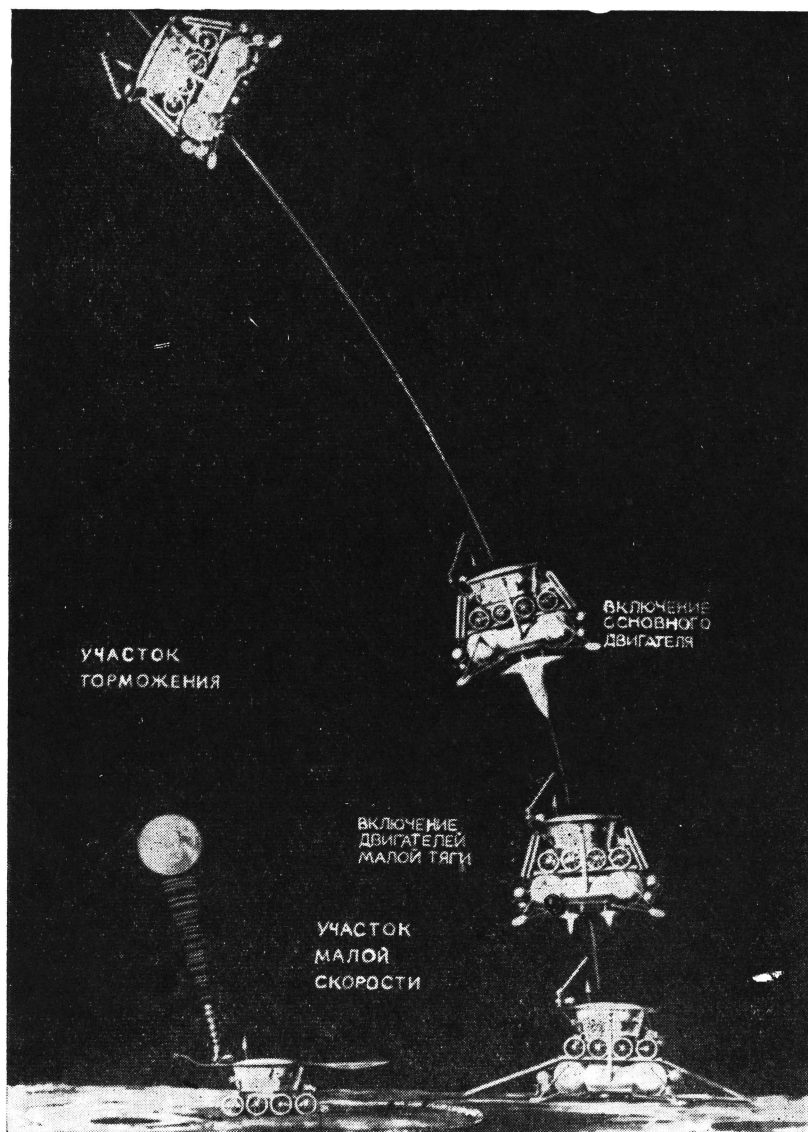
К востоку от места посадки «Лунохода-2» расположена меридионально ориентированная трещина, переходящая на севере в цепочку вытянутых депрессий. Длина трещины около 20 км, а ширина 300—500 м. Исследование этой трещины позволит выяснить строение лавового покрова и мощность реголита в данном районе.

Основные формы микрорельефа в районе работы «Лунохода-2» — мелкие кратеры (меньше 1000 м в диаметре). Они как бы раздробили поверхность базальтового покрова моря и сформировали поверхностный рыхлый слой (реголит). Кратеров здесь меньше, чем на исследованных ранее морских равнинах, поэтому можно предположить, что и слой реголита окажется менее мощным.

«ЛУНОХОД-2» И «ЛУНОХОД-1»

Что общего между «Луноходом-2» и его предшественником? Есть ли различия между ними?

Унифицированная посадочная ступень, на которой был установлен «Луноход-2», принципиально не отличает-



ся от использовавшихся ранее. Сама передвижная лаборатория во многом похожа на «Луноход-1».

Правда, новая машина весит больше, ее аппаратура усовершенствована. Одна телевизионная камера вынесена из общего корпуса, так что при движении лунохода трасса просматривается лучше. Панорамная телевизионная система наблюдения осталась такой же, как и у «Лунохода-1». Самоходное шасси, по-прежнему, слу-

жит инструментом для определения физико-механических характеристик лунного грунта.

Между передними колесами размещен выносной блок аппаратуры «РИФМА». Она успешно использова-

■
Схема посадки автоматической станции «Луна-21», доставившей на поверхность нашего естественного спутника «Луноход-2»

лась на «Луноходе-1» для оценки состава основных породообразующих элементов верхнего горизонта лунной поверхности. «РИФМА» может показать изменчивость химического состава на отдельных элементах рельефа.

В передней части «Лунохода-2» на штанге смонтирован магнитометр, который позволяет измерять намагниченность пород в разных точках маршрута (на «Луноходе-1» магнитометра не было). Лунные породы обладают остаточной намагниченностью (палеомагнетизмом). Очень интересно провести подобные наблюдения на поверхности Луны, выявить влияние магнитного шлейфа Земли и межпланетного поля на характер намагниченности пород, попытаться уяснить механизм намагничивания пород в прошлом. К корпусу лунохода прикреплен отражатель лазерных лучей, изготовленный французскими специалистами. Отражатель закрывается крышкой.

Площадь солнечных батарей и емкость химических аккумуляторов у «Лунохода-2» несколько увеличены.

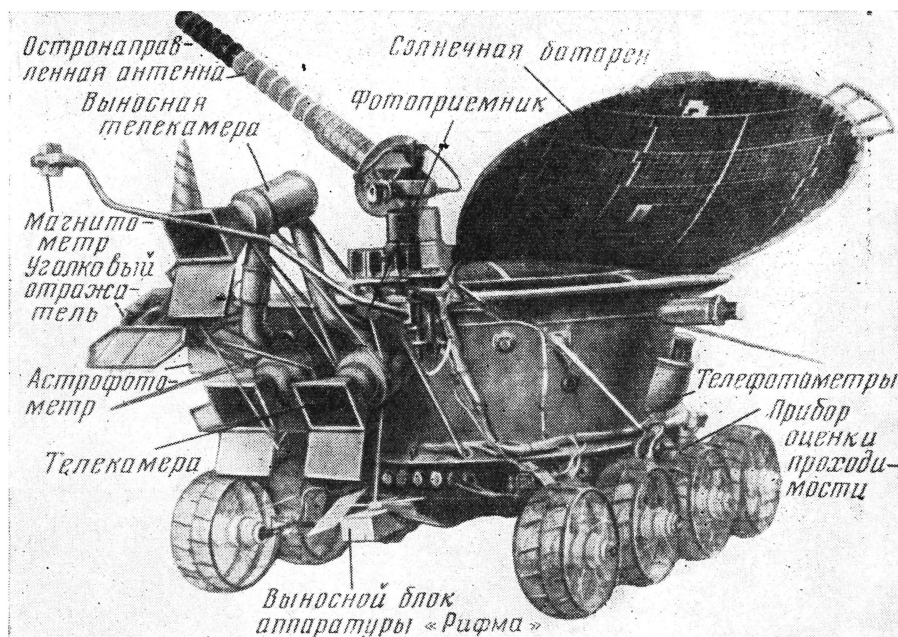
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В районе посадки «Лунохода-2», по данным аппаратуры «РИФМА», химический состав реголита отличается от состава рыхлого поверхностного слоя в Море Дождей. Так, например, железа здесь оказалось значительно меньше, чем в ранее исследованном морском районе. Вероятно, лавы, заполнившие впадину Моря Ясности и дно кратера Лемонье, имеют разный состав. Это интересный факт. Для окончательного выяснения его нужно провести еще много определений химического состава поверхности.

Вокруг кратеров существует зона выбросов, в которой отложен материал с больших глубин. В зоне выбросов можно попытаться получить данные о распределении химического состава по глубине, не прибегая к бурению. От кромки свежего крупного кратера луноход должен передвигаться по внешнему склону вала до межкратерного пространства. Во время такого маршрута «РИФМА» даст необходимые сведения.

На фотопанорамах, переданных с борта «Лунохода-2», за горизонтом морской равнины видны светлые лунные горы — часть горной системы Тавр (к востоку от кратера Лемонье). В южном направлении возвышается гора, которая получила условное название Пик Лунохода. На юго-западе видны светлые очертания Южного Мыса.

Характер морской поверхности в районе посадки «Луны-21» однородный, больших каменных россыпей нет. Вполне вероятно, что на пути лунохода еще встретятся развалы каменистого материала, выброшенного из свежих кратеров. Но в первый лунный день колеса «Лунохода» мягко перемещались по лунному грунту. Посадочная ступень прилунилась прямо на кромку вала 30-метрового кратера. К северо-западу от посадочной ступени на панораме виден кратер диаметром 300 м. «Луноход-2», прокладывая маршрут на юг и юго-восток, продолжал передавать панорамные снимки, на которых все четче вырисовывалась стена обрамляющих гор. Кратеров здесь было немного, и самоходная станция не встречала серьезных препятствий. Управление машиной так хорошо отлажено, что луно-



ход можно поворачивать на ходу, не останавливая его, как это делалось раньше.

Лунный материал, который запечатлен на фотопанорамах «Лунохода-2», имеет большее альbedo, чем морская поверхность. В последнее время ученые убедились, что лунные материк сложены анортозитами — светлыми кристаллическими породами. Морские излияния представляют более тяжелые базальтовые лавы. Отсюда и различие в альbedo этих поверхностей.

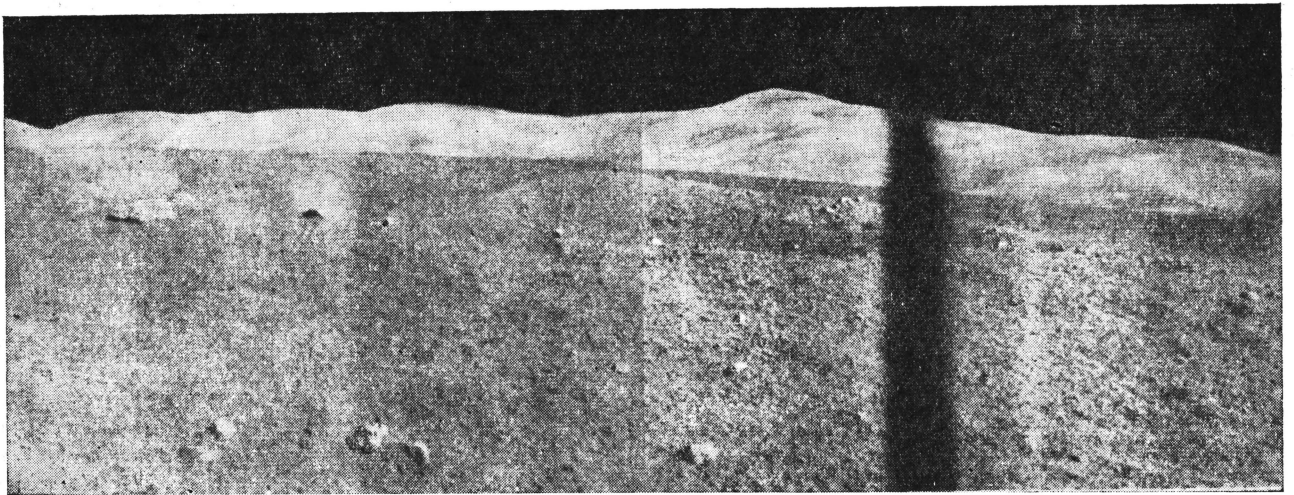
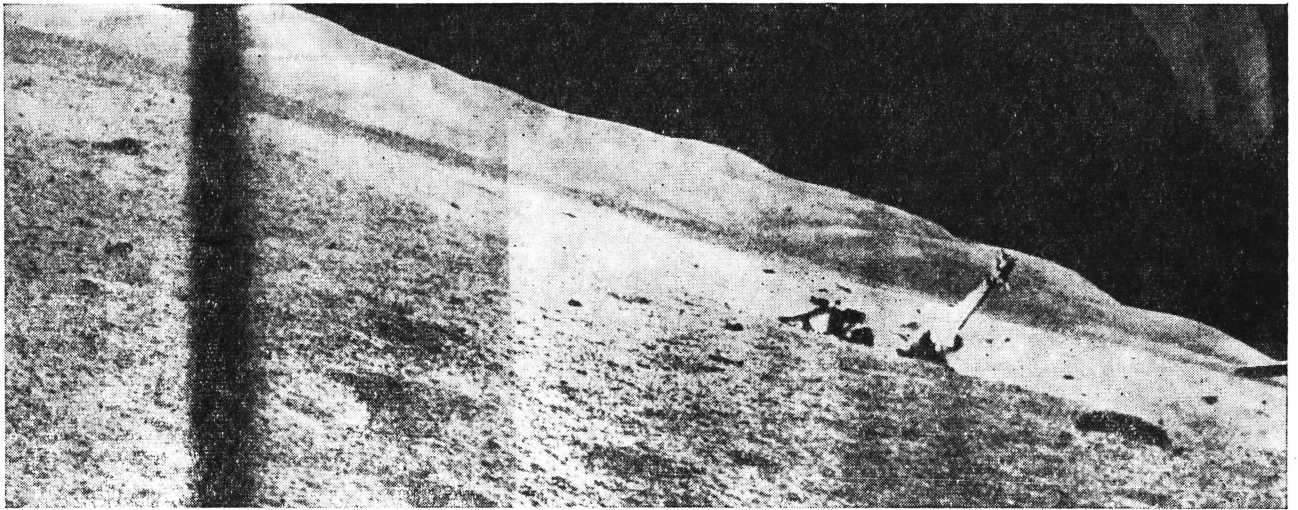
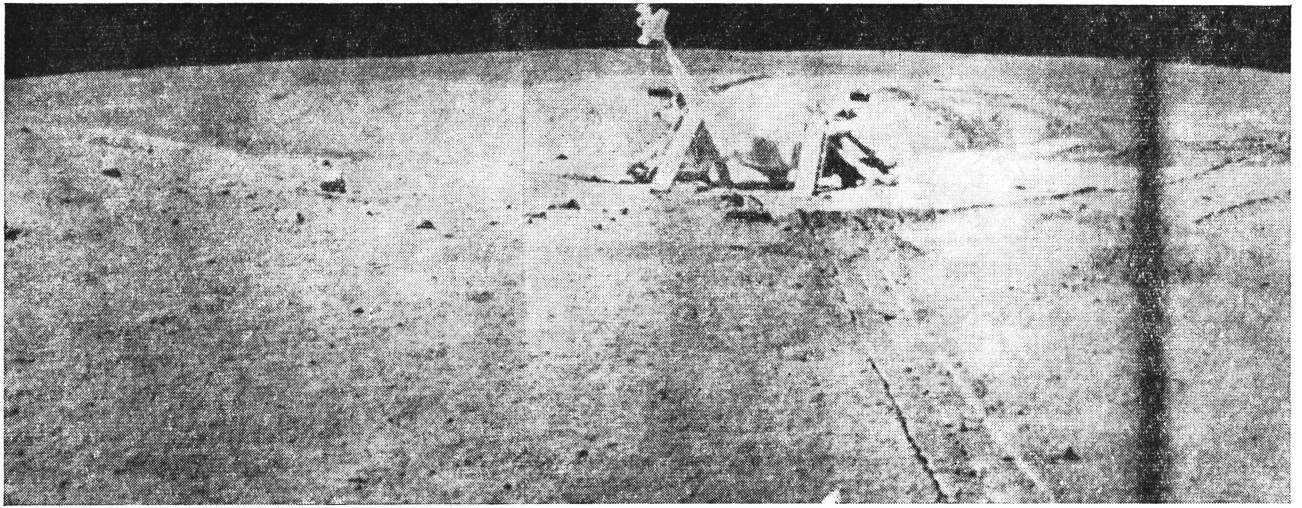
Теперь можно более определенно судить о строении гор, окружающих кратер Лемонье. Сетчатый характер трещиноватости склонов горных массивов свидетельствует, что породы материка претерпели значительные изменения в процессе эволюции кольцевого бассейна Моря Ясности. Породы, слагающие эту часть материка, несут на себе следы огромных напряжений, возникших при тектонических перестройках материковой коры. Вполне вероятно, что лавовая поверхность кратера Лемонье покоится на

сильно нарушенном и расчлененном рельефе, а само лавовое покрытие менее мощное, чем остальные участки Моря Ясности.

Селенологов очень интересует перенос вещества с материка на морскую поверхность. Этот вопрос поможет решить «Луноход-2» (особенно в переходной зоне). Не исключено, что вблизи можно будет исследовать характер интенсивности смещений материала по склонам. Фотопанорамы присклоновых поверхностей привлекут внимание специалистов. Возможно, в таких зонах будет иное, чем на типичном море, распределение кратеров и строение реголита, а также другой состав верхнего слоя лунного покрова.

Чтобы выйти в переходную зону между морем и материком, «Луноход-2» двигался на юг. Во время маршрута проводились комплексные научные исследования: изучались физико-механические свойства лунного грунта, химический состав реголита, выполнялись магнитные измерения. Одновременно работала фототелевизионная аппаратура. Особенно интересные участки рельефа морской поверхности и материкового массива,

■
«Луноход-2»





«ЛУНОХОД-2»: ДЕНЬ ТРЕТИЙ

Утром 9 марта в кратере Лемонье начался третий лунный день работы нашего «Лунохода-2». Телеметрическая информация свидетельствовала о том, что после прошедшей ночи все системы автоматического аппарата находятся в полной исправности.

Продолжая движение, «Луноход-2» сначала перемещался по материку, затем пересек предматериковый район, прошел вдоль южного побережья кратера и остановился на расстоянии 2,5 км от крупного тектонического разлома, находящегося в восточной части кратера Лемонье.

Выявлен и изучен ряд интересных образований на поверхности Луны. Среди них кратер со следами оползневых явлений на склонах. Обнаружены вариации химического состава лунного грунта в переходной зоне «море — материк». Оценена напряженность лунного магнитного поля в предматериковом районе и ее изменение, наблюдавшееся во время перемещения самоходного аппарата. Продолжались измерения характеристики солнечных и галактических космических лучей.

Общий путь, пройденный самоходным аппаратом к концу третьего лунного дня, составляет 27,6 км.

Заключительный сеанс связи по программе третьего лунного дня был проведен 23 марта. Луноход был подготовлен к проведению лунной ночи, которая продолжалась в районе его стоянки до 8 апреля.

По материалам сообщений из Центра дальней космической связи (ТАСС).

(Продолжение в следующих номерах)

окружающего кратер Лемонье, были запечатлены на стереопанорамах. «Луноход-2» продвигался по выбросам крупных (до 200 м в диаметре) кратеров, преодолевая поверхность, усеянную камнями разнообразных форм и размеров. Отдельные экземпляры имели поперечник до 2 м. По мере приближения к материку внешний вид камней менялся. Несколько раз аппарат пересекал 15-метровые кратеры с внутренними склонами до 20—25°. Во время заездов в кратеры изучались физико-механические свойства грунта и распределение камней на внутренней поверхности кратеров. А это весьма важно для понимания склоновых процессов в лунных условиях.

Надежная работа ходовой части позволяла Луноходу уверенно маневрировать на кратерных склонах. В отдельные сеансы самоходная лаборатория проходила до 2 км.

Холмистая зона предгорий началась в шести километрах от посадочной

ступени. «Луноход-2» перемещался среди пологих холмов (высотой до 150—200 м), чередующихся с понижениями. Заметно уменьшилось количество обломков, реголит стал более рыхлым, переработанным и, вероятно, более мощным. На пути лунохода находился крупный (диаметром 2 км) кратер материкового типа. Вал кратера возвышается над морской поверхностью на 400 м. Склоны кратера покрыты рыхлым реголитом. Поверхность стала более волнистой. Передвижение усложнилось. На отдельных участках «Луноход-2» преодолевал склоны в 20°. Были получены интересные фотопанорамы холмистого участка переходной зоны.

Предварительный анализ данных химического состава реголита в переходной зоне явно свидетельствует об уменьшении содержания железа и увеличении количества алюминия по сравнению с морским участком пути. Значит, возрастает роль материковых пород в формировании реголита.

Фотопанорамы, сделанные на вершине вала, позволили впервые заглянуть внутрь крупного материкового кратера и рассмотреть структуру поверхности его склонов.

Ни один самоходный аппарат не совершал столь сложного маршрута.

Дальнейшие исследования «Луноход-2» значительно дополняют и уточняют наши представления о лунном рельефе и процессах, формирующих его.

Посадочная ступень «Луны-21» на бровке 30-метрового кратера

Панорама лунных гор, окружающих с юго-востока кратер Лемонье. На переднем плане — посадочная ступень «Луны-21»

Вид на материк с места посадки «Луны-21». Самая высокая точка — Пик Лунохода

Кандидат физико-математических наук
В. П. ГОЛОВКОВ

Геомагнитное поле — предвестник землетрясений?

ВУЛКАНЫ И ЗЕМНЫЕ ПРИЛИВЫ

Сравнительно недавно установлено, что активность гейзеров зависит от земных приливов. А как же вулканы? К числу наиболее известных и хорошо изученных принадлежит вулкан Стромболи в Италии. Его тщательно исследовали научные сотрудники Мичиганского университета доктора М. Дж. С. Джонстон и Ф. Дж. Моук. Они обнаружили, что вулкан Стромболи наиболее активен в период, когда амплитуда земных приливов в их двухнедельном цикле близка к минимуму.

С 1900 года до наших дней изучено много других «сухопутных» вулканов. Исследователи проанализировали 680 извержений, каждый раз сопоставляя их с фазой земных приливов. Вулканы имеют тенденцию активизироваться в разные фазы двухнедельного цикла. Но у большинства вероятность извержения наибольшая в периоды максимальной амплитуды земного прилива.

Важен и тип лавы — андезитовый или базальтовый. Есть связь с географическим положением вулкана, но, по-видимому, она вторична: положение вулкана нередко определяет тип изливающейся лавы.

Джонстон и Моук тщательно изучили 18 вулканов, расположенных вблизи Японии. Они установили, что те вулканы, которые чаще всего бывают активны в момент минимума приливов или около него, обычно находятся в районах с большой мощностью земной коры и малой интенсивностью горизонтальных деформаций коры. Вулканы, расположенные в областях с тонкой земной корой и горизонтальными деформациями, превышающими 3,0 см/год, имеют тенденцию извергаться в момент максимума двухнедельного цикла приливов или вблизи него.

Объяснения этим фактам пока предложить трудно.

«Nature», 239, 5370, 1972.

Упругие напряжения в Земле, которые завершаются сейсмической катастрофой, накапливаются годами. И, конечно, в канун землетрясений должны наблюдаться определенные геофизические явления — предвестники. Внезапное развитие микротрещин в горных породах, молнии, обычные и шаровые, увеличение концентрации некоторых химических элементов в минеральных водах — не проходят мимо внимания ученых. А как же ведет себя магнитное поле Земли? На этот вопрос отвечает автор публикуемой ниже статьи.

В середине 60-х годов в области исследования магнитоупругих свойств горных пород сложилась неопределенная ситуация — возникло явное противоречие между результатами лабораторных и полевых работ. Ставшие классическими эксперименты доктора физико-математических наук С. П. Капицы установили, что вдоль оси сжатия горных пород, содержащих магнетит, магнитная восприимчивость уменьшается на сотую долю процента на каждую атмосферу сжимающего напряжения. В те же годы доктор физико-математических наук М. А. Грабовский показал, что при первом сжатии возникают необратимые изменения намагниченности на порядок или два больше тех, которые связаны с обратимыми изменениями восприимчивости. И все-таки магнитологи-геофизики никак не могли найти и проследить (во времени и пространстве) изменения магнитного поля над очагами землетрясений. А ведь там

сжатиям до сотен атмосфер подвергаются десятки кубических километров магнитных пород!

Было заманчиво и, казалось, так просто — установить сеть магнитометров и следить за развитием очага до тех пор, пока не приблизится опасный момент, и тогда в преддверии катаклизма предупредить население и спасти все что возможно от разгула подземной стихии. Многие геофизики за последние 100 лет с энтузиазмом принимались за эту работу, но не получили почти ни одного надежного результата. Возникло даже подозрение: нет ли здесь каких-либо лабораторных ошибок, просчетов в постановке эксперимента? Может быть, всесторонние гидростатические давления или высокие температуры в недрах Земли так изменяют свойства вещества, что его магнитоупругие характеристики резко уменьшаются с глубиной? На этом этапе решения проблемы в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР я включился в работу, которая велась под руководством кандидата технических наук А. Н. Пушкова.

Изменению восприимчивости ферромагнетика под давлением соответствует термодинамически обратная величина — магнитострикция, то есть изменение формы ферромагнетика при намагничивании. Изучение магнитострикции позволило обойти многие экспериментальные трудности, возникающие при использовании прессов, в то время как результаты получались те же самые. Нам удалось показать, что магнитоупругие характеристики горных пород с ростом температуры почти до точки Кюри (такие температуры наблюдаются на



глубинах в десятки километров) по крайней мере не уменьшаются, а гидростатические давления вообще не оказывают на них влияния. Таким образом, неудачи геофизиков в поисках эффекта, связанного с землетрясением, — сейсмоманнитного эффекта — были вызваны не физикой магнитоупругих процессов, а методикой их поиска в полевых условиях.

Работа в геофизическом институте всегда сопряжена с соблазнами: из далеких экзотических экспедиций возвращаются усталые друзья и от их рассказов под скромным домоседом-физиком начинает подпрыгивать стул. Так случилось, что и я поехал на грузовой машине по узким дорогам Памира в места, откуда ушли люди, ушли после страшного землетрясения 1949 года, когда в считанные минуты целый город оказался погребенным под многометровой толщей земли...

Склоны гор выжжены солнцем, снежные пики дрожат в знойном мареве и кажутся призрачными. По ночам воздух прохладен и свеж, звезды огромны. В покинутых садах лакомятся урюком элегантные медведи в белых манишках...

Мне предстояло искать пресловутый сейсмоманнитный эффект, в существовании которого я не сомневался. У нас были магнитометры, основанные на измерении частоты прецессии протонов в магнитном поле. Среднеквадратичная ошибка в измерениях этими приборами около двух гамм ($2 \cdot 10^{-5}$ э). Этого маловато, но точность можно увеличить набором статистики. Мы петляли с утра до вечера по головоломным серпантинам и мерили, мерили, мерили. Иногда заезжали к сейсмологам на затерянные

в горах станции выпить горячего, терпкого кок-чая и узнать очередную сводку за день.

«Самый сейсмичный район Советского Союза» непрерывно дрожал. Вдоль наших маршрутов происходили десятки землетрясений в неделю, но все «мелочь» — с энергией не более нескольких миллиардов джоулей. День за днем, месяц за месяцем мы мечтали, чтобы хорошенько трянуло, чтобы закачались деревья, а с гор посыпались огромные глыбы скал. Деревья качались и глыбы падали, но далеко в горах, куда не добраться нашему грузовичку. Тогда выючили ишаков и шли по невысшим горным тропам. А землетрясения играли с нами в прятки. Нам не везло... сейсмоманнитного эффекта не было. Дело осложнялось еще и тем, что Памир — молодые горы. Там велики толщи практически немагнитных осадочных пород.

После трех лет упорной работы мы свернули свой полигон. Впрочем, эти три года не прошли впустую. Удалось обнаружить в нескольких местах локальные изменения магнитного поля со временем существования от нескольких месяцев до одного года. Источники этих изменений находились где-то в земной коре. Но связаны они не с отдельными землетрясениями, а с вариациями сейсмической активности — количеством мелких землетрясений на границах отдельных блоков земной коры.

Отдельные землетрясения, казалось, совсем не создавали магнитного эффекта, впрочем, если и создавали, их влияния мы просто могли не заметить. Несколько позже подобный эффект обнаружили японские геофизи-

ки в районе Мацусиро.

Американские геофизики С. Брайнер и Р. Л. Ковач на знаменитом разломе Сан-Андреас в эти же годы проводили относительные измерения квантовыми магнитометрами с чувствительностью до сотых долей гаммы и тоже не получили прямой связи изменений геомагнитного поля с землетрясениями и подвижками на разломе.

Мы искали новый сейсмический район и нашли его совсем недалеко. Наш новый полигон охватывал город Ташкент. В самом городе еще кипела стройка, на местах разрушенных кварталов соперничали с солнцем огни электросварки, а по тенистым улицам как ни в чем не бывало бежали трамваи и троллейбусы. И наши приборы были здесь бессильны из-за множества электромагнитных помех, свойственных большому промышленному городу. Пришлось создать полигон вокруг города, заложив несколько сот километров маршрутов. Мы работали вместе с сотрудниками Института сейсмологии АН Уз.ССР, радушными хозяевами и хорошими геофизиками*. Трагедия 1966 года была у них свежа в памяти, и они с энтузиазмом занимались поиском сейсмоманнитного эффекта в окрестностях своего города.

Ташкент имеет благоприятную для магнитных измерений геологическую обстановку. Под 2—3-километровым слоем осадков довольно много древних сильномагнитных горных пород. По нашим оценкам, образование такого очага, как очаг 1966 года, долж-

* В. И. Уломов. На пути к прогнозу землетрясений. «Земля и Вселенная», № 3, 1968 г.



Схема, иллюстрирующая сейсмоман-
нитный эффект

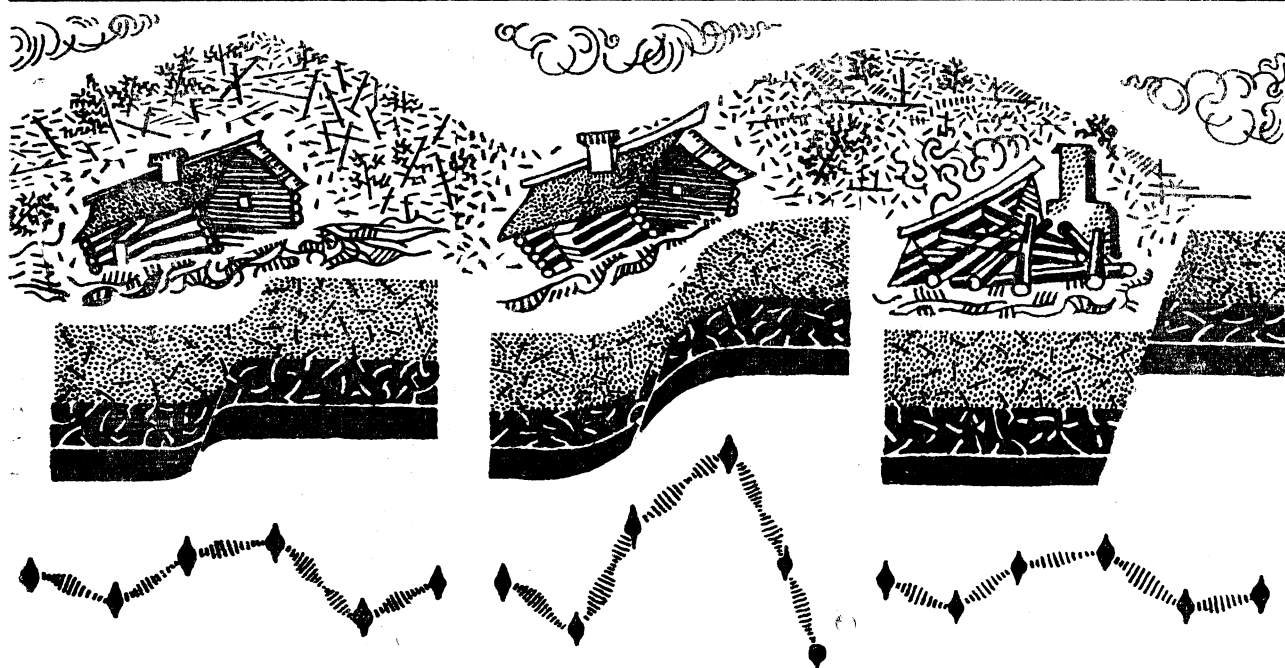
Рисунок И. Митюкова

но вызвать изменение магнитного по-
ля на 15—20 гамм.

В 1968 году начались магнитные из-
мерения. «Закладка» маршрутов —
очень ответственная операция. Она
заняла весь летний сезон; мы тща-
тельно выбирали пункты, выясняя воз-
можность их сохранения в будущем,
определяли уровень помех. Работа ве-
лась на стационарной магнитной об-
серватории Янги-Базар, где можно
было следить за изменениями поля
ионосферного и магнитосферного
происхождения и вносить соответст-
вующие поправки в результаты изме-
рений на маршрутах. Здесь же мы
могли постоянно контролировать ка-
чество наших приборов. И вот на сле-
дующий год обнаружилось уже кое-
что интересное.

Среди наших пунктов был и такой,
который мы установили над естест-
венным газохранилищем. Ташкентские

геологи недалеко от города нашли
антиклинальную структуру с хорошим
водоносным слоем, перекрытым не-
проницаемыми слоями плотных осад-
ков. В этот естественный резервуар,
покрытый глиняным куполом с разме-
рами в несколько километров, под
давлением 90 атм закачивался при-
родный газ. Он вытеснял оттуда воду
и мог сохраняться в течение месяцев
и лет. Понятно, что увеличение давле-
ния закачанного газа приводило к
возникновению упругих напряжений в
своде структуры. А значит, должна
была измениться намагниченность по-
род свода и магнитное поле над ним.
Удалось зарегистрировать эти измене-
ния. Измерения в 1968 году проводи-
ли при заполненном резервуаре, а
после его опустошения поле над купо-
лом возросло на 23 гаммы! Отлично!
Этот эксперимент дал уверенность в
правильности применяемой методики



и надежду на успех в поисках очага готовящегося землетрясения. Мы продолжали упорно «ловить» землетрясение, и вот наконец — удача.

На одном из участков многочисленных маршрутов уже в 1969 году в записях приборов заметили небольшое, но очень характерное изменение магнитного поля. Оно напоминало перевернутую воронку от артиллерийского снаряда. Такое магнитное поле бывает над изометричным телом, намагниченным вертикально. Но изменение намагниченности здесь могло быть связано лишь с колебанием упругих напряжений в земной коре. Ведь размер участка с аномальными изменениями поля был около 30 км, значит, источник лежал на глубине 8—12 км. Таким образом, удалось зарегистрировать зарождение очага будущего землетрясения.

Месяц за месяцем аномальные

значения поля увеличивались по абсолютной величине. В декабре 1970 года скорость их возросла и максимальные отклонения превысили 20 гамм. А в феврале 1971 года чуть в стороне от маршрута, напротив аномального участка, случилось то, чего мы так долго ждали (правда, жителям близлежащих селений пришлось пережить несколько неприятных минут). На глубине около 10 км произошел скол и высвободилось примерно 10^{13} дж энергии.

Через несколько дней мы имели результаты новых измерений поля и с удовлетворением убедились, что события здесь развивались так, как предсказывали лабораторные опыты и теоретические расчеты. Там, где поле перед землетрясением возрастало, теперь резко уменьшилось, а где убывало, — возросло. Объем пород, подмагниченных сжатием, снова размаг-

нитился, но не совсем. При подготовке землетрясения произошли и обратимые, и необратимые изменения намагниченности.

«Значит, вы уже умеете прогнозировать землетрясения?» — спросят нетерпеливые читатели. Пока, к сожалению, нет. До разработки методики, до организации службы предсказания места и, самое главное, времени будущего землетрясения пройдут еще годы кропотливого труда геофизиков многих стран. Скорее всего, для такой службы понадобится целый комплекс различных геофизических методов, но мы на опыте убедились, что достойное место в этом комплексе займет магнитометрия — превосходный инструмент для изучения динамики упругих напряжений в земной коре. И тогда сигнал «Внимание, землетрясение!» будет звучать не после, а до катастрофы.



Развитие исследований по геодезии в Эстонской ССР

Основной задачей геодезии является определение фигуры и размеров Земли. Эта проблема, возникшая в глубокой древности, не теряет своего значения и по сей день. Классический метод решения проблемы — градусные измерения, особенно широко проводившиеся в XVIII и начале XIX столетия, — базируется как на геодезических, так и на астрономических определениях. Поэтому вполне закономерно, что исполнителями градусных измерений были, как правило, астрономы, а научными геодезическими центрами на долгое время оставались астрономические обсерватории.

Не была исключением в этом отношении и астрономическая обсерватория Тартуского (Дерптского, Юрьевского) университета, старейшего в Советском Союзе. Создателя обсерватории, одного из первых ее директоров (с 1818 по 1839 год) Василия Яковлевича Струве вначале геодезия привлекала даже больше, чем астрономия. Фактически научная биография Струве началась с геодезии. Выполненные им и его учениками геодезические работы закрепили за Тартуской обсерваторией ведущую роль в развитии геодезии и подготовке геодезических кадров России. Высокую оценку этой деятельности дала Пулковская обсерватория на 100-летнем юбилее Тартуского университета: «Можно смело сказать, что от Юрьевской университетской обсерватории ведет начало не только этот исполинский труд (градусное измерение — Г. Ж.), но и вообще современная русская геодезия».

В дальнейшем геодезия стала од-

Геодезия — одно из традиционных научных направлений астрономической обсерватории в Тарту. Первые геодезические работы на территории Эстонии начались еще в 1818 году по инициативе В. Я. Струве. В настоящее время во всей Прибалтике, и особенно в Эстонии, успешно развиваются исследования современных движений земной коры.

ним из традиционных научных направлений обсерватории несмотря на то, что с переходом В. Я. Струве в Пулково туда переместился и центр тяжести геодезических исследований. Однако на разных этапах удельный вес геодезических работ в обсерватории менялся — все зависело от неотложных задач, диктуемых временем, и научных интересов коллектива.

Научная и организационная деятельность В. Я. Струве оказала большое влияние на развитие геодезии в России, оставила заметный след в мировой геодезической науке. Грандиознейшим научным мероприятием этого времени можно назвать Русско-Скандинавское градусное измерение, которое проводилось вдоль меридиана Тартуской обсерватории, — «дуга Струве». Протяженность дуги $25^{\circ}20'$ от берегов Северного Ледовитого океана до реки Дунай. Эти измерения были начаты В. Я. Струве и К. И. Теннером в Прибалтике независимо друг от друга. В 1828 г. две небольшие дуги были объединены в одну, протяженностью $8^{\circ}2,5'$. В последующие десятилетия измерения

продолжались в северном и южном направлениях. Общее руководство этой международной работой (кроме России участвовали Швеция и Норвегия) осуществлял В. Я. Струве.

Измерению Прибалтийского отрезка дуги ($3^{\circ}20'$ от Екабпилса, на реке Даугаве, до острова Сууресаари, в Финском заливе), выполненному Струве в 1821—1831 годах, предшествовала тригонометрическая съемка губернии (Лифляндии, 1816—1819 годы). Это было первой практической работой молодого Струве и подготовкой к серьезному исследованию, задуманному еще во время учебы на филологическом факультете, — проведению градусного измерения. В ходе работ В. Я. Струве разработал оригинальные методические приемы, используемые во всех последующих работах. Он предложил новый метод измерения углов и внес изменения в конструкцию инструментов, сам изготовил совершеннейший для того времени базисный прибор, который служил до конца столетия, разработал методы астрономических определений и многое другое. С 1824 года Тартуская обсерватория становится школой геодезической подготовки офицеров армии и флота.

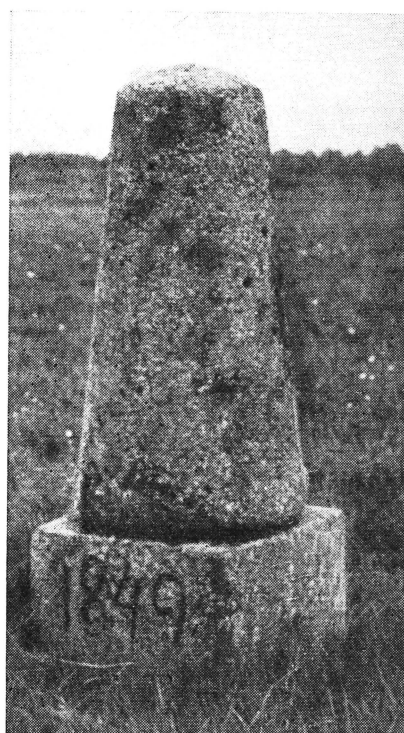
Другой интересной работой, выполненной учениками Струве (А. Н. Савичем, Е. Е. Саблером, Г. Е. Фуссом) под его руководством, было первое достоверное определение разницы высот уровней Каспийского и Черного морей. Сотрудники Тартуской обсерватории участвовали в первой хронометрической экспедиции по определению долгот ряда пунктов Балтийского моря (1833 год), они выполняли астрономо-геодезиче-

ские работы в географических экспедициях: во время кругосветного плавания на шлюпе «Предприятие» (В. Прейс, 1823—1826 годы); при восхождении на Арарат (В. В. Федоров, 1829—1830 годы), в период освоения Западной Сибири (он же, 1832—1837 годы). Геодезические работы вновь активизируются, когда директорами обсерватории были Ф. Клаузен и Л. Шварц, который дважды принимал участие в экспедициях в Восточную Сибирь, на Дальний Восток и остров Сахалин. Он выполнил огромный объем работ по астрономо-геодезическому исследованию этих необжитых тогда пространств.

Директор обсерватории Г. В. Левицкий, а затем К. Д. Покровский расширили спектр работ обсерватории. На базе организованной при обсерватории сейсмологической станции астроном-наблюдатель А. Я. Орлов начал изучать приливные движения земной коры. Кроме того, развернулись наблюдения за колебаниями полюса, выполненные приемником А. Я. Орлова Э. Шенбергом.

Великая Октябрьская социалистическая революция завершилась победой — в России установился новый, социалистический строй, создавший все условия для развития отраслей хозяйства, культуры и науки. Однако Эстония, как и другие Прибалтийские республики, осталась в стороне от этих коренных преобразований — более чем на 20 лет в ней утвердился буржуазный строй.

В условиях стесненных материальных возможностей маленькой буржуазной республики о больших научных исследованиях и работах можно было лишь мечтать. И все же геодезия



■ В. Я. Струве (1793—1864) — создатель и первый директор Тартуской астрономической обсерватории

■ Астрономо-геодезический знак над восточным концом базиса, измеренного в 1827 году В. Я. Струве. Знак находится в местечке Симуна Эстонской ССР.

оказалась в наилучшем положении: в рамках международной организации — Балтийской геодезической комиссии ученые делали все возможное, чтобы не отстать от своих соседей. Эта комиссия занималась изучением фигуры геоида в регионе Балтийского моря. Ее членами были все страны, примыкающие к Балтийскому морю. Научная программа предусматривала проведение высокоточных астрономо-геодезических и геофизических работ в полосе, опоясывающей море и его заливы. За период с 1924 по 1938 год в Эстонии был выполнен большой объем работ. На долю Тартуской астрономической обсерватории (ассистент Р. Ливлэндер) выпало определение географических координат всех пунктов эстонского участка международной триангуляционной цепи, а также ряда пунктов в глубине территории республики. Р. Ливлэндер участвовал также в установлении связи между основными долготными пунктами: Рига, Таллин, Пулково. В 1938—1940 годах уже по заданию Таллинского политехнического института он выполнил с помощью упругого маятника Гольвека — Леже гравиметрическую съемку территории республики.

В 1940 году Эстония вошла в дружную многонациональную семью народов СССР. Перед наукой открылись широкие возможности, но воспользоваться ими не удалось. Вероломное нападение фашистской Германии и начавшаяся война нарушили все планы. После победного окончания Великой Отечественной войны потребовались еще годы на восстановление народного хозяйства и подготовку к новым работам.



В 1947 году университетская обсерватория была передана Институту физики и астрономии (тогда Институт физики, математики и механики) Академии наук Эстонской ССР. В обсерватории, теперь уже по традиции, создана и приступила к работе группа геодезии. В 1964 году на плато Тыравере, в 20 км от Тарту, открылась Тартуская астрофизическая обсерватория имени В. Я. Струве. В новой обсерватории, объединившей секторы астрономии и физики атмосферы, продолжил работу и сектор геодезии. В старой же обсерватории 25 августа 1971 года открылся Музей астрономической и геодезической аппаратуры, истории развития этих наук в Эстонии.

В 50-е годы основным направлением геодезических работ Института физики и астрономии стала интереснейшая тема — изучение геодезическими методами современных движений земной коры на территории республики. Тема эта для эстонских исследователей не новая, она давно привлекала внимание ученых, поскольку смещение береговой линии наблюдается здесь в течение жизни даже одного поколения. Так, на небольшом островке Вильсанди, на который 40—50 лет назад можно было добраться только на лодках, теперь можно пройти пешком или доехать на автомашине. А вот берега знаменитого Чудского озера опускаются и заболачиваются буквально на глазах у старожилов. Если же заглянуть в далекое прошлое, скажем на 700 лет

назад, то можно найти и другие приметы вертикальных движений земной коры. Например, Вороний Камень, с которого Александр Невский следил за исходом Ледового побоища, давно уже скрылся под водой, а на острове Сааремаа каменный портал старинной гавани Тарнимяэ стоит сейчас очень далеко от воды. Все это свидетельствует о длительном сводовом поднятии Балтийского кристаллического щита, на юго-восточных склонах которого расположена Эстония. Но если о смещениях прибрежной полосы уже получены научно обоснованные выводы, то о современных движениях континентальной части территории судить значительно сложнее.

Согласно выводам океанографов, поднятие Балтийского кристаллического щита продолжается и на современном этапе. Скорость смещений такова, что ее можно выявить (поддается определению) по данным точных нивелирований, повторяемых через 20 лет. К 1950 году время для повторения нивелирований наступило. Некоторым толчком для окончательного выбора темы послужило государственное повторное нивелирование (в 1948 году) на трассе длиной 400 км.

Задача сводилась к выявлению современных движений земной коры методом повторного нивелирования.

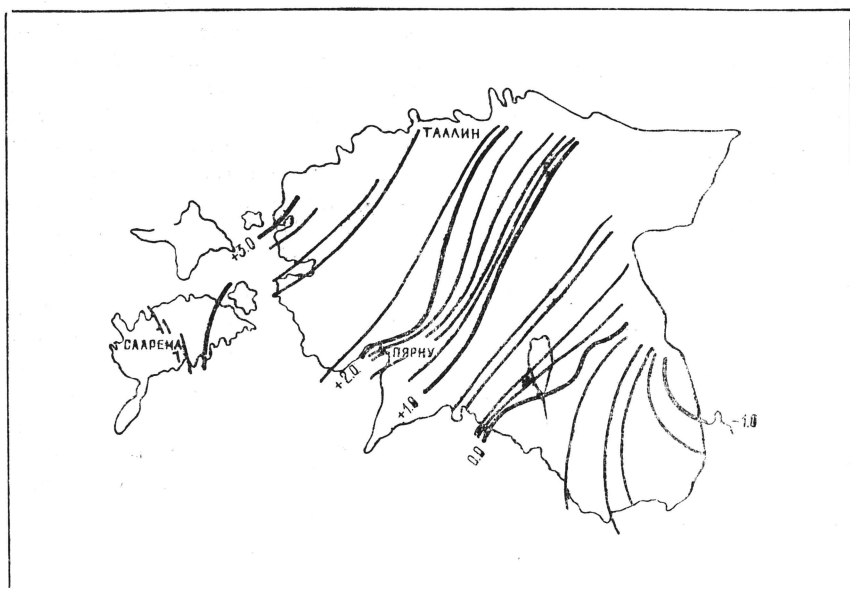
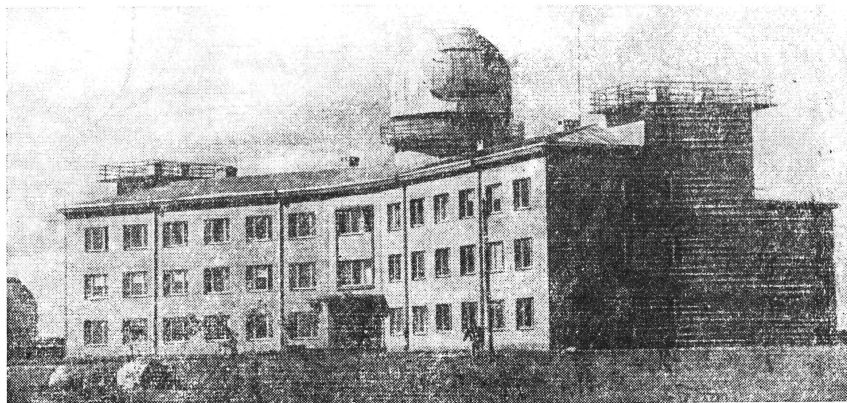
Тартуская обсерватория в 1810—1825 годы

Необходимо было также развернуть работы по гравиметрическому изучению территории республики, а также выявить соотношения между геофизическими полями и происходящими смещениями земной коры. Ведь наблюдаемые движения земной коры — это, прежде всего, внешние проявления сложных физико-химических процессов, происходящих на глубинах. О глубинных процессах мы можем судить, измеряя гравитационные, магнитные, сейсмические и другие геофизические поля на поверхности Земли. Сопоставление геофизических полей с размещением тех районов, где отмечены современные движения той или иной активности на поверхности, позволяет нам полнее представить глубинную жизнь Земли. Поэтому с самого начала работа проводилась комплексно. И хотя выполнение гравиметрической съемки перешло в Институт геологии, с развитием и расширением работ по теме в нее включались все новые исполнители различных специальностей: из Института геологии — гравиметристы и геоморфологи (В. Маазик, Х. Сильдвее, К. Орвику, А. Мийдель), из Таллинского политехнического института — геодезисты и физики (Р. Лутсар, Н. Лумп), из Эстонской сельскохозяйственной академии и проектного института «Эстонпроект» — геодезисты (Ю. Рандяярв, Л. Сапар). Поскольку аналогичные работы были начаты и в соседних республиках, то в 1960 году был создан координирующий центр — Прибалтийская неотектоническая комиссия.

В Эстонии основным методом было повторное нивелирование (работы по теме возглавлял автор статьи),

следовательно, изучались лишь вертикальные движения. Исходный материал в виде данных высокоточного нивелирования 1933—1940 годов, надежно закрепленного на местности и состоящего из семи замкнутых полигонов периметром 400 км каждый, полностью отвечал требованиям предстоящего исследования. Повторного материала, за исключением нивелирования I класса 1948 года, не было. Пришлось повторять нивелирование своими силами, по методике и с точностью работ 1933—1940 годов, что соответствовало нивелированию II класса повышенной точности.

К 1965 году вся исходная сеть (2000 км) была в основном повторена. Получен материал для составления карты изобаз (линий равных смещений) на территории республики. Автор статьи были предложены схемы изобаз для территории республики, а Ю. Рандярвом — для всей Прибалтики. Высокая точность использованного материала позволила наметить изобазы через 0,2 мм в год и тем самым рельефно изобразить блоковый характер происходящих движений. Граница одного из блоков совпала с «шарнирной линией» — линией древнего разлома земной коры. Анализ графиков годовых скоростей на отдельных трассах показал кроме «шарнирной линии» и другие места резких изменений скоростей. Те места, где наблюдаются скачкообразные изменения скоростей, совпадают с районами геологических нарушений, выявленных геологами и геофизиками. Это, как будто бы, подтверждало обоснованность выводов о блоковом строении земной коры.



Тартуская астрофизическая обсерватория в Тыравере, открытая в 1964 году

Карта равных вертикальных смещений земной коры на территории Эстонской ССР. Изобазы (линии одинакового годового подъема) проведены через 0,2 мм/год. В центральной части территории республики в направлении с юга-запада на северо-восток намечается сгущение изобаз, что означает границу блоков, смещающихся с различными скоростями

Некоторой неожиданностью при уточнении полученных выводов явилось то, что в результате вторых и третьих повторных нивелирований на отдельных участках той или иной трассы получены смещения, отличающиеся от предыдущих не только величиной, но и знаком. Последнее настораживало, так как трудно было представить, что процессы, происходящие на больших глубинах и внешне проявляющиеся в виде смещений земной коры, могли меняться так часто — через 30 лет. Колебательный характер происходящих движений вы-



зывает сомнения. Более достоверным казалось такое объяснение: видимые изменения — это результат влияния ошибок нивелирования или воздействия экзогенных факторов на состояние внешних слоев земной поверхности.

В Эстонии с 1961 года начали проводить экспериментальные исследования на испытательной трассе, а также теоретические разработки и подсчеты влияний различных факторов на результаты нивелирования — атмосферной нагрузки (Н. Лумп), приливных движений (Л. Валлнер) и других. Исследовались и ошибки нивелирования (А. Торнм). Началась разработка и обоснование новых, более точных методов нивелирования (Л. Тамме и А. Тамм), предложен и испытан метод гидростатического нивелирования. Этим методом была передана высота через проливы Моонзундского архипелага (1967, 1968 годы), а также установлена разность вы-

сот Нуля Кронштадтского футштока и репера в районе города Ломоносов (1969 год). Полученные результаты подтвердили высокую точность данного метода и его соответствие работам по выявлению современных движений. В настоящее время разрабатывается методика применения гидростатического нивелирования с автоматической записью показаний. Можно надеяться, что новый метод поможет исследователям в поисках предвестников землетрясений.

На территории Эстонии ведется изучение локальных движений в районах геологических нарушений и в больших городах (Р. Лутсар).

Основной геодезической проблемой для всей Прибалтики является также изучение современных движений земной коры. Учитывая, что в Латвии и Литве главные исполнители этих работ — высшие учебные заведения (Вильнюсский инженерно-строительный институт, Латвийская

сельскохозяйственная академия), возможности которых значительно скромнее, чем академических учреждений, не приходится удивляться, что объем работ в этих республиках значительно меньше. В Латвийской ССР основное внимание сосредоточено на изучении техногенных смещений в районе Плявиньского водохранилища.

В Эстонии изучение современных движений будет продолжаться. Нужно получить ответы на многие дискуссионные вопросы. Не снимается с повестки дня и развертывание работ по изучению горизонтальных движений.

Исследования современных движений в Прибалтике, и особенно в Эстонии, ведутся планомерно и углубленно. Прибалтика представляет собой как бы естественный полигон для изучения современных движений земной коры — этого интереснейшего явления жизни и развития нашей планеты.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

К проблеме современных движений земной коры научный интерес растет с каждым годом. Геодезисты, геоморфологи, океанографы и сейсмологи уделяют изучению современных дви-

жений самое пристальное внимание. Ярким свидетельством этого было совещание в Таллине (13—19 мая 1972 г.), где встретились ученые всех братских республик, а также гости из социалистических стран: Германской Демократической Республики, Венгрии, Польши и Чехословакии.

Географическое положение Эстонии, позволяющее «невооруженным глазом» наблюдать вековые смещения земной коры, а также заслуги эстонских исследователей в изучении современных движений сделали вторично местом встречи ученых город Таллин.

Организаторами и хозяевами совещания были Институт физики и астрономии, а также Институт геологии Академии наук ЭССР. Работу орг-

комитета возглавил член-корреспондент АН СССР Ю. Д. Буланже, заместитель председателя Междуведомственного геофизического комитета Президиума АН СССР. Совещание подвело итоги последних пяти лет.

Несомненным достижением не только Советского Союза, но и международной науки следует считать издание карты современных движений земной коры Восточной Европы (в масштабе 1:10 000 000). Для составления карты геодезисты выполнили колоссальную работу: на протяжении 90 000 км (из них 71 000 км — по территории СССР) был проверен, а затем отобран материал повторного нивелирования. В составлении карты приняли участие представители социалистических стран, основ-





ными же исполнителями были Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии, а также Институт географии АН СССР. Изданная карта — выдающийся научный труд геодезистов, геоморфологов, океанографов и картографов. Ценность и уникальность карты современных движений земной коры не подлежит сомнению. Именно поэтому ей было уделено много времени и внимания.

40 докладов из 108 были посвящены изучению современных движений на геодинамических полигонах. Идея комплексного изучения Земли геодезистами, сейсмологами и метеорологами принадлежит Ю. Д. Буланже. К настоящему времени работа по единому плану ведется в Советском Союзе на 18 полигонах, в ближайшее время вступят в строй еще три геодинамических полигона. Примеру Советского Союза последовали многие зарубежные страны. Гость из Чехословакии доктор П. Высокчил поделился результатами работ на полигоне Лишов и планами дальнейшего развития геофизических работ в его стране. Особый научный интерес и важнейшую практическую направленность имеют работы на полигонах, расположенных в сейсмоактивных районах. Здесь отрабатываются методы автоматического и непрерывного слежения за изменением скоростей смещений земной коры как предвестников землетрясений. Обзорный доклад на тему о геоморфологических исследованиях территории Прибалтики сделал В. К. Гуделис.

Программа таллинского совещания завершилась обсуждением геофизической интерпретации современных движений земной коры. Вопросы изучения возможных физико-химических процессов и механизмов смещения различных по своей структуре участков земной коры вызвали живейший интерес у слушателей. Большинство докладов этого профиля было представлено геофизиками Института физики Земли, возглавляемыми членом-корреспондентом АН СССР В. А. Магницким.

На совещании были заслушаны два доклада — Ю. М. Шейнманна и В. П. Щеглова — о дрейфе континентов. (Интересная деталь: автор гипотезы дрейфа континентов А. Вегенер в 1918 году короткое время был профессором Тартуского университета).

Г. А. Желнин

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ В ОКЕАНЕ

То, что до последних дней было лишь предположением, основанным на научной интуиции, получило, наконец, подтверждение. (Л. М. Бреховских, К. Н. Федоров. Полигон-70. Эксперимент в океане. «Земля и Вселенная», № 3, 1971 г.). Полугодовые систематические измерения течений, проведенные советскими учеными на гидрофизическом полигоне в Тропической Атлантике, обработаны и тщательно проанализированы. На схемах, изображающих осредненные векторы течений различных горизонтов во всех 17 точках полигона, можно проследить весьма интересную эволюцию поля течений во времени. В конце мая 1970 года на всех глубинах до 1500 м отчетливо виден крупномасштабный вихрь, ось которого проходит через центральную точку полигона. Вихрь перемещался через полигон с северо-востока на юго-запад в направлении 240° со скоростью около 4 см/сек, причем скорости течений на периферии вихря достигали 25 см/сек. Вихревое возмущение в океане напоминало атмосферный антициклон. Диаметр вихря был больше поперечника полигона (около 200 км), а форма асимметрична — вытянута в направлении, перпендикулярном пути. Анализ схем течений на полигоне за весь период наблюдений дает основания думать о цепочке вихрей, перемещавшихся через полигон с северо-востока на юго-запад.

Волнообразные возмущения океанических течений («меандры»), не-

редко вырождающиеся в крупномасштабные вихри, часто наблюдаются в районах Гольфстрима и Курисио, где они возникают в результате бароклинной неустойчивости течения либо вследствие влияния топографии дна океана. Существование сходных по масштабу вихрей в открытом океане, вдали от берегов и интенсивных течений, где глубины свыше 5 км, ждет своего физического объяснения.

«Известия АН СССР, серия физика атмосферы и океана», IX 1, 1973.

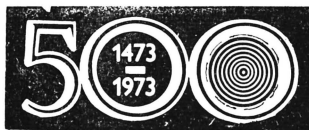
НОВЫЕ НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ

ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Карту звездного неба выпустило Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР в 1972 году. Учителя средних школ и руководители астрономических кружков получили пособие, позволяющее познакомиться с различными объектами звездного неба и решать ряд задач по сферической и практической астрономии.

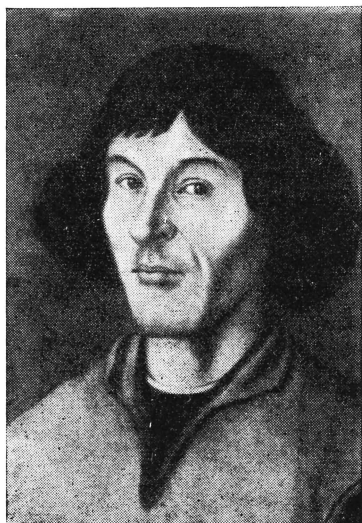
Карта охватывает область от северного полюса мира до -45° по склонению. На ней нанесены все видимые невооруженным глазом звезды (до 5,75 видимой звездной величины), отмечено местоположение двойных и переменных звезд, радиантов метеорных потоков, звездных скоплений, туманностей, внегалактических объектов и т. д. Составители карты А. Д. Марленский и Е. И. Ковязин снабдили ее подробным методическим руководством.

Диаметр карты 1,5 м. Благодаря этому она может быть использована во время уроков или лекций в сравнительно больших учебных аудиториях. Предусмотрена возможность превращения карты в «подвижную». Это можно сделать, если самостоятельно изготовить из плотного картона или фанеры «основание» для карты и «накладной круг».



Академик
А. А. МИХАЙЛОВ

В поисках прямых доказательств движений Земли



Часто говорят, будто Коперник доказал годовое движение Земли вокруг Солнца и суточное вращение вокруг оси. Такие утверждения не совсем правильны. Коперник с большой убедительностью показал, что допущение таких движений Земли устраняет сложность и путаность геоцентрической теории движения планет, вполне разумно объясняет суточное вращение сферы неподвижных звезд. Вопреки анонимному предисловию к его бессмертной книге, Коперник был убежден в том, что открыл истинное строение мира, с которым тогда отождествлялась Солнечная система, и движения Земли, но доказательствами он не располагал: ему не были известны факты, опыты или явления, которые бы служили прямым подтверждением движений Земли. Более того, один факт свидетельствовал против орбитального движения Земли и не было ни одного, со столь же определенностью доказывающего ее годовое или суточное вращение.

Коперник понимал, что в случае орбитального движения Земли, как требует непреложная геометрия, звезды в течение года должны совершать видимые периодические движения, или колебания, вызванные перемещением наблюдателя вместе с Землей. Логично было допустить, что если у планет вследствие годового движения Земли появлялись петлеобразные траектории — эпициклы, представляющие собой отражение этого движения, то же самое должно наблюдаться и у звезд. Причем, как и у планет, угловые размеры эпициклов позволяли определять относительные расстояния звезд от Солнца. Но звезды в течение года оставались неподвижными, ника-

ких годовых параллаксов у них не наблюдалось. Это был самый сильный аргумент против движения Земли. Его нельзя было поставить в один ряд со многими наивными аргументами, которые приводили противники гелиоцентрической системы мира. Они, например, утверждали, что если бы Земля двигалась, то птица, вылетевшая из гнезда, не смогла бы в него вернуться, так как гнездо будет унесено Землей...

Коперник, убежденный в правильности своего учения, считал, что годовые параллаксы у звезд существуют, но они исчезающе малы и поэтому незаметны. Такое утверждение поражает своей смелостью. Ведь если принять точность определения положений звезд $5'$, то отсутствие заметных параллаксов означало, что звезды находятся от нас по крайней мере в тысячу раз дальше Солнца и в сотню раз дальше самой далекой из известных в то время планет — Сатурна, относительное расстояние которой Коперник впервые определил, пользуясь своей теорией. По мере повышения точности наблюдений возрастали размеры звездного мира, но параллаксы звезд по-прежнему оставались неуловимыми.

Отсутствие заметных параллаксов звезд было одной из причин, побудивших величайшего наблюдателя конца XVI века Тихо Браге придумать весьма искусственное сочетание гео- и гелиоцентрической систем мира: сохраняя Землю в центре Вселенной, он заставил планеты обращаться вокруг Солнца, которое в свою очередь двигалось вокруг Земли.

После того как изобрели зрительную трубу и применили ее для изме-

рения углов, точность наблюдений увеличилась во много десятков раз. Тем не менее параллаксы звезд обнаружить не удалось. Однако попытки их измерения продолжались уже не столько для доказательства движения Земли, сколько для определения звездных расстояний. Ведь к тому времени открытия Галилея, законы Кеплера и закон всемирного тяготения Ньютона поставили движение Земли вне сомнений.

Звездные параллаксы пытался измерить английский любитель астрономии Молине. На самодельной установке он наблюдал кульминации звезды γ Дракона, расположенной недалеко от полюса эклиптики и поэтому особенно выгодной для определения параллакса. В наблюдениях принимал участие оксфордский астроном Дж. Бадлей, который в 1726 году обнаружил, что место кульминации звезды изменяется почти на $40''$ с периодом в один год. Однако, в отличие от параллактического смещения, звезда отклонялась с запозданием на четверть года. Пожалуй, это явление было легче обнаружить, чем объяснить. Рассказывают, как однажды Бадлей, прогуливаясь по берегу Темзы, заметил, что флаги, развевавшиеся на судах, меняли направление при перемене курса, так как при этом скорость ветра складывалась по правилу параллелограмма со скоростью корабля. В то время было уже известно, что свет распространяется немедленно, хотя и с огромной скоростью. Бадлей догадался, что нечто подобное отклонению флага происходит и с лучом света, идущим от звезды, при встрече с движущейся Землей: если считать, что луч света — по-

ток корпускул, то сложение скорости потока и Земли должно вызвать изменение направления луча как раз с наблюдаемой фазой. Так была открыта **абберация света**. Это явление доказывает орбитальное движение Земли с неменьшей убедительностью, чем звездные параллаксы, которые продолжали оставаться незамеченными.

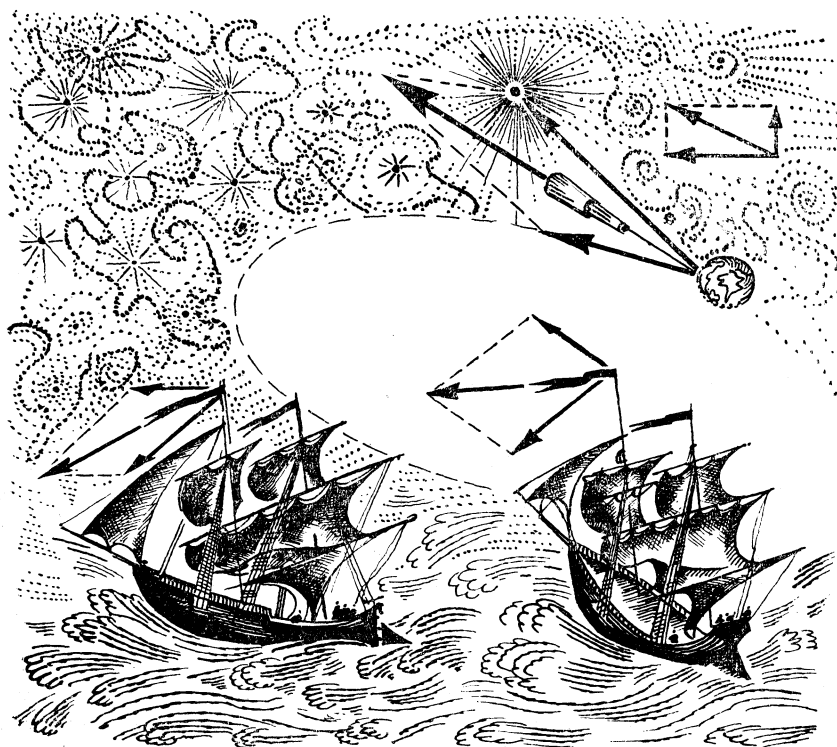
Бадлей, ставший впоследствии директором Гриничской обсерватории, повысил точность определения координат звезд до немногих секунд дуги. Отсутствие заметных параллакс теперь означало, что звезды должны быть по крайней мере в десятки тысяч раз дальше Солнца. Но тогда из фотометрических соображений следовало, что их действительная яркость сравнима с солнечной, то есть Солнце — одна из бесчисленных звезд. Попытки многих других наблюдателей обнаружить параллаксы звезд тоже оказались безуспешными.

К концу XVIII века ученые убедились в том, что малость звездных параллакс делала безнадежным определение их абсолютным методом — путем сравнения координат звезд, полученных из наблюдений меридианными инструментами. Тогда стали определять относительные параллаксы способом, указанным еще Галилеем. Если две звезды проецируются на небесный свод одна рядом с другой, но в действительности находятся на разных расстояниях от нас, то близкая звезда будет иметь параллакс, во столько раз больший, во сколько ее расстояние меньше расстояния другой. Нам кажется, будто в течение года угловое расстояние между такими звездами меняется на разность их параллакс. Такой метод имеет одно

преимущество: приходится измерять небольшие угловые расстояния между соседними звездами. С окулярным микрометром это делается гораздо точнее, чем определяются абсолютные координаты.

К тому времени нашли довольно много звездных пар, компоненты которых сильно различались блеском. Естественно было предположить, что яркая звезда такой пары ближе к нам и что эти звезды наиболее удобные объекты для определения относительных параллакс. Особенно ревностно открытием и наблюдением двойных звезд занимался В. Гершель. Однако после двадцатипятилетних исследований в 1803 году он пришел к неожиданному выводу: большинство двойных оказались не просто звездами, которые видны в одном направлении, а действительно близкими парами звезд, связанными взаимным притяжением и совершающими орбитальное движение вокруг общего центра масс. Так был открыт новый тип объектов, доказавших всемирность тяготения. Изучение их позволило определить массы звезд. Обычно они несильно отличались от массы Солнца, что еще раз подтверждало тождество звезд и Солнца. Открытие физических двойных звезд обогатило и продолжает обогащать науку, однако для той цели, ради которой начались их наблюдения — измерение относительных параллакс — двойные звезды оказались непригодными.

Триста лет продолжались поиски звездных параллакс. Лишь в 30-х годах XIX века цель была достигнута. Почти одновременно в трех разных странах были обнаружены и измерены параллаксы трех звезд. Первым



сообщил о своих результатах В. Я. Струве в 1837 году. За два года до окончания строительства Пулковской обсерватории, директором которой он был назначен, Струве измерял в Дерпте (ныне Тарту) на крупнейшем в то время 9-дюймовом рефракторе Фраунгофера угловые расстояния яркой звезды Веги (α Лиры) от двух близко к ней расположенных слабых и потому, вероятно, далеких звездочек. Предпочтение было отдано Веге, поскольку яркий блеск наряду с заметным собственным движением не оставляли сомнений в близости звезды к нам. Ф. Бессель в Кенигсберге, напротив, выбрал довольно слабую

звезду β созвездия Лебедя, но обладающую исключительно большим собственным движением. Он измерял гелиометром ее угловое расстояние тоже от двух слабеньких звезд. Т. Гендерсон на обсерватории в Кейптауне выбрал очень яркую звезду южного неба α Центавра, имеющую к тому же значительное собственное движение.

Наибольший параллакс оказался у α Центавра — почти $1''$, что соответствовало расстоянию приблизительно 200 000 а. е. Параллаксы двух других звезд получились в 3—5 раз меньшими, а следовательно, их расстояния от нас во столько же раз большими. Согласно уточненным измерениям, параллакс α Центавра равен $0'',75$, что соответствует расстоянию в 275 000 а. е., или 4,3 световых года. Окраины нашей Галактики оказались в тысячи раз дальше. Поистине, размеры звездного мира превосходят всякое воображение!

Эффект абберации света звезд. Поскольку Земля движется со скоростью, в какой-то мере сравнимой со скоростью света, то прежде чем свет звезды попадет в окуляр телескопа, инструмент вместе с Землей сместится. Поэтому трубу телескопа нужно наклонять на небольшой угол вперед по движению Земли

Абберация света и годовые параллаксы звезд — прямые и непосредственные доказательства орбитального движения Земли вокруг Солнца. И если во времена Галилея и Кеплера в существовании такого движения еще возникали сомнения, то после этих открытий оно стало бесспорным.

А как обстояло дело с поисками доказательств суточного вращения Земли? Конечно, вывод о суточном вращении Земли косвенно связан с ее годовым движением вокруг Солнца. Даже если стать на точку зрения античной астрономии и принять существование сферы неподвижных звезд, то при минимальном радиусе ее, соответствующем годовому параллаксу в $1''$, линейная скорость суточного вращения на экваторе сферы в 4 500 раз превосходила бы скорость света. Хотя абсурдность такого допущения и очевидна, но это еще не прямое доказательство вращения Земли. Предсказанное Ньютоном и обнаруженное в первой половине XVIII века полярное сжатие Земли тоже подтверждало ее осевое вращение.

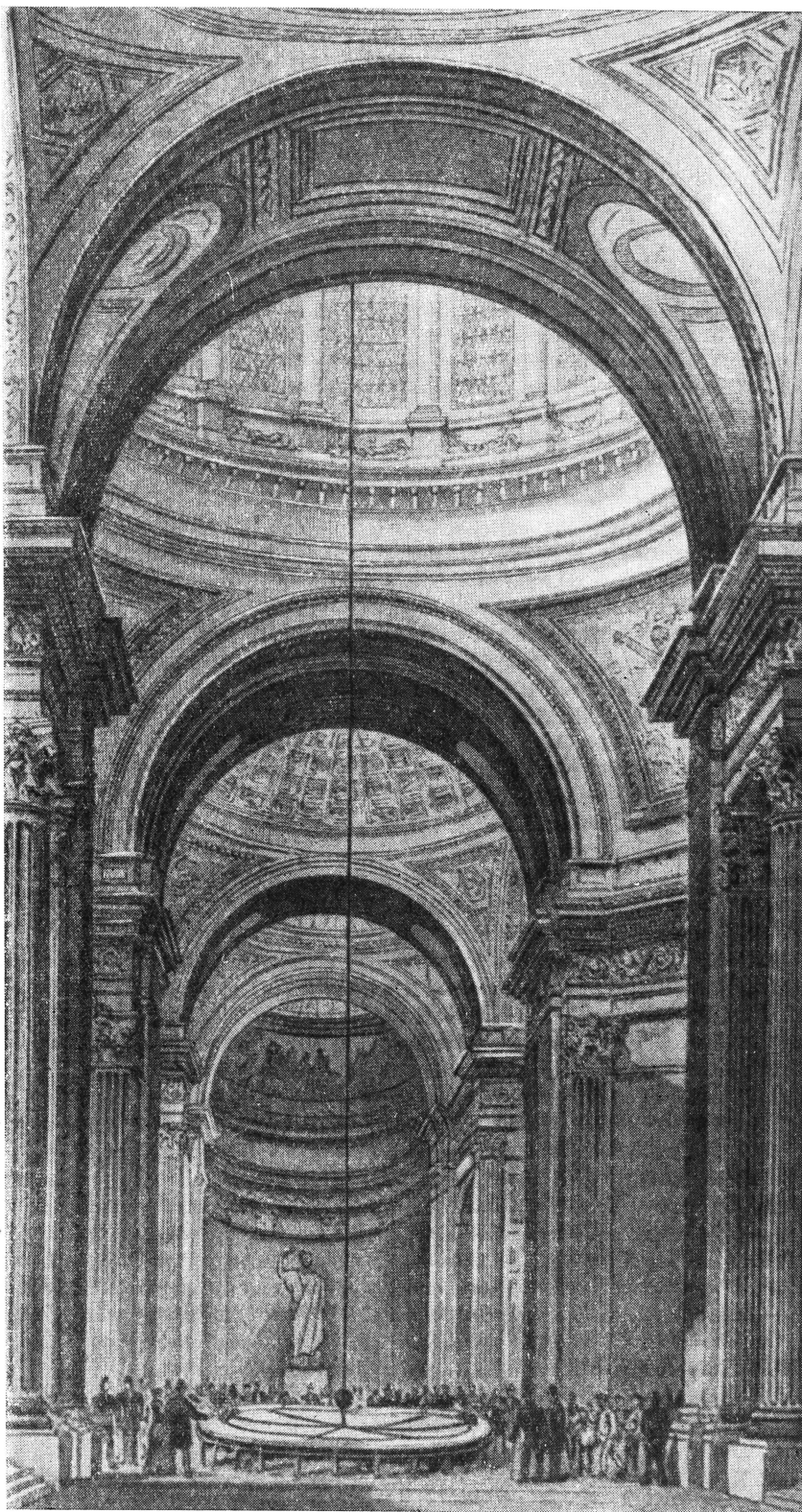
Ньютон указал еще на одно явление, которое служит прямым доказательством вращения Земли, это — отклонение падающих тел к востоку. Современник Ньютона «куратор экспериментов Королевского общества» Р. Гук пытался обнаружить это явление, но безуспешно. И неудивительно, ибо при падении с малой высоты (всего 27 футов) тела отклоняются на доли миллиметра. Лишь сто лет спустя, в 1791 году, Д. Гильемини, наблюдая в Болонье падение свинцового шара с высоты 240 футов, получил отклонение на юго-восток, согласующееся с расчетным.

Наиболее убедительно и наглядно вращение Земли демонстрируется свободно подвешенным маятником, который сохраняет плоскость колебания независимо от поворота подставки. Такой опыт был впервые проведен для широкой аудитории в 1851 году французским физиком Л. Фуко в Парижском пантеоне. С тех пор он неоднократно повторялся в разных местах и даже в Риме, где в 1633 году Галилей был принужден инквизиционным трибуналом отречься от доктрины движения и вращения Земли. Особенно эффектна демонстрация маятника Фуко в Исаакиевском соборе в Ленинграде.

На протяжении нескольких веков ученые искали прямых доказательств годичного движения Земли по орбите вокруг Солнца и суточного вращения ее. Эти поиски дали ряд неожиданных и замечательных открытий. Сейчас вращение Земли практически используется в гироскопах, употребляемых в навигации и авиации для определения полуденной линии.

Привыкнув с детских лет слышать о движениях Земли, нам трудно себе представить, какую революцию в сознании людей произвело учение Коперника. Мы не всегда отдаем себе отчет в значении этого факта и часто недооцениваем влияние, которое Коперник имел на науку и культуру. Тем важнее вспомнить об этом теперь, в год, когда все прогрессивное человечество отмечает 500-летие со дня рождения великого польского ученого.

■
Маятник Фуко в Парижском пантеоне





Профессор
В. К. ЦЫСКОВСКИЙ

Углекислота... и жизнь на Марсе

Успешные полеты космических аппаратов к Марсу и первая мягкая посадка на его поверхности советской автоматической станции «Марс-3» приближает время, когда человек покорит таинственную красную планету.

Однако освоить эту планету человек сможет только в том случае, если на ней он найдет все необходимое для своего существования. Ибо трудно представить, что организация на планете сходных с земными условий жизни будет возможна за счет транспорта с Земли миллиардов тонн грузов. Это окажется непосильной задачей даже для наших потомков.

На Марсе, по-видимому, имеются предпосылки для воспроизводства всего того, к чему привык человек на Земле и без чего он не может обойтись. Насколько верно такое утверждение?

Марс обладает атмосферой, хотя и очень разреженной. Среднее давление у поверхности в сто раз меньше земного. Состоит атмосфера преимущественно из углекислого газа (CO₂). Поскольку в атмосфере есть углекислота, то, несомненно, в толще марсианской коры может присутствовать углерод в связанном состоянии, в виде углекислых солей различных металлов. В марсианской атмосфере очень немного воды (в тысячи раз меньше, чем в земной) и совсем мало кислорода.

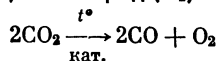
Низкая концентрация водяных паров, вероятно, определяется тем, что на поверхности планеты нет жидкой воды. Возможно она, как считает В. Д. Давыдов, сохранилась в марсианских замерзших морях, покрытых

слоем песка. Снимки, полученные американским искусственным спутником Марса «Маринер-7», как будто бы не противоречат этой гипотезе. Кроме того, вода может находиться в связанном состоянии и в недрах Марса. А из воды можно получить кислород и водород.

Таким образом, если на Марсе нет никаких залежей полезных ископаемых, органических веществ, то их отсутствие удастся полностью компенсировать связанным углеродом и водой. Запасы связанного углерода, содержащегося только в марсианской атмосфере, таковы, что его химическая переработка даст более $8 \cdot 10^{12}$ т разнообразных химикатов и продуктов питания в виде искусственных протеинов. Этого количества химических веществ хватит на многие тысячелетия! Используя углекислый газ и воду, химики грядущих столетий обеспечат земных переселенцев всеми химическими веществами и материалами, полученными теперь на Земле из нефти, угля и сланца.

Так ли это? Может быть, задача и в далеком будущем не выйдет за рамки научной фантастики? Нет! Уже сегодня наука способна решить ее при условии дешевой энергии.

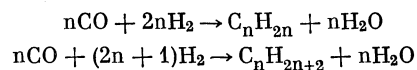
Углекислоту, содержащую связанный углерод, следует рассматривать как основу будущей марсианской химической промышленности. Известно, что в определенных условиях углекислоту можно разложить на окись углерода (CO) и кислород (O₂):



Разложение углекислоты протекает и

при высокой температуре (5 000° C) в присутствии катализатора, и под действием коронирующего разряда или жесткого излучения.

Окись углерода, взаимодействуя с водородом в присутствии катализатора при температуре 190° и давлении 5 атм, преобразуется в смесь парафиновых иолефиновых углеводородов, составляющих искусственную нефть:



Химическая переработка этих углеводородов позволяет получить многие известные органические вещества.

Реакцию синтеза углеводородов из окиси углерода и водорода впервые использовали в 1913 году для синтеза искусственной нефти. Позже эта реакция была забыта, поскольку открыли дешевые природные источники нефти. На Марсе человек вынужден будет снова вернуться к использованию этой жизненно необходимой реакции.

Превращение углекислоты в окись углерода и кислород, равно как и воды в водород и кислород, относится к числу достаточно энергоемких реакций. Для их осуществления нужны мощные и вместе с тем дешевые источники энергии. Такими источниками на Марсе могут стать ядерные реакции и лучистая энергия Солнца. За счет этой же энергии будут получать из марсианских горных пород дополнительное количество углекислоты и воды. Выделившийся при реакциях кислород постепенно сделает атмосферу Марса пригодной для дыхания живых организмов.



ЭКСПЕДИЦИИ

Сейшельские острова

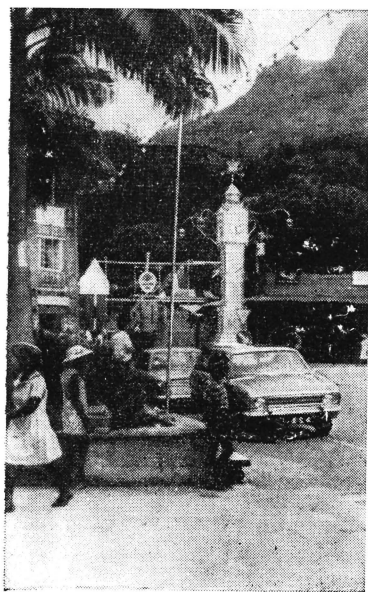
В начале 1972 года научная экспедиция на корабле Института океанологии АН СССР «Дмитрий Менделеев», работавшая в Индийском океане, посетила Сейшельские острова. После трехдневной стоянки в порту Виктория (остров Маэ) и встречи с местными властями корабль направился к островам Праслен и Курьез. Здесь участники экспедиции совершили интересные экскурсии.

Географу или натуралисту теперь трудно найти на земном шаре место, куда бы ни проникли промышленность, торговля и туризм. Пожалуй, один из последних таких уголков — Сейшельские острова. Они расположены почти у самого экватора между Мадагаскаром и полуостровом Индостан. Овеянные легендами, в ореоле романтики, эти острова остаются надолго в памяти тех, кто там побывал. Мягкость зеленых очертаний, подернутые легкой дымкой безлюдные ослепительно белые пляжи, задумчивое величие гигантских гранитных скал, округлые бока которых полирует океанская зыбь, — все это скорее умиротворяет, нежели волнует, настраивает на восхищенное, немое созерцание совершенной гармонии природы. Даже удивительно, что к этим островам вовсе не подходит эпитет «экзотические», хотя совсем недалеко — рукой подать — лежат Мальдивские острова, Мадагаскар и Занзибар, экзотика которых с детства будоражит воображение. Нет! Вовсе не экзотика и даже, пожалуй, не романтиче-

ская гармония пышной тропической зелени, серого гранита и зеркально гладкой воды способны пробудить желание поделиться с читателем своими впечатлениями о Сейшельских островах. Их древнее происхождение, их история, население, фауна и флора — все необычно. Об этом и стоит рассказать.

Никто не знает толком, сколько всего на самом деле Сейшельских островов. По данным официальной статистики за 1971 год — 92 острова, из которых 46 имеют постоянное население. Книги, издаваемые в столице Сейшельских островов — городе Виктории, утверждают, что в архипелаге заведомо больше ста островов, но многие из них — просто небольшие надводные скалы. Архипелагом вместе с Амирантскими островами, лежащими в 135 милях к юго-западу, владеет Великобритания, административно с 1967 года он входит в Британскую Индоокеанскую территорию. Общая площадь Сейшельских островов около 640 км², а население 51 400 человек. В столице проживает около 14 200 человек.

Жители Сейшельских островов занимаются в основном сельским хозяйством и рыболовством. Главные предметы экспорта — кокосовая копра, ваниль и корица. Недавно на островах стали возделывать чай. Своих продуктов питания здесь не хватает. Мясо, молоко, рис и муку приходится ввозить. Правда, в изобилии растут такие фрукты, как манго, бананы и ананасы. Распространившаяся слава прекрасного климата Сейшельских островов в последние годы стала привлекать все больше и больше туристов. В 1971 году на острове Маэ стал функциониро-



Главная площадь в городе Виктории

На улицах Виктории

вать международный аэропорт. Недалеко от города Виктории, на вершине окрестных гор, достигающих 600—900 м, разместилась американская станция наблюдений искусственных спутников Земли, с характерным шарообразным куполом антенны.

История Сейшельских островов необычна уже тем, что с момента их открытия в XVI веке Васко да Гамой до момента заселения французами и объявления их французским владением прошло около двух с половиной столетий. Название островов менялось. Пусть разочаруются те, кто думает, что современное название произошло от исковерканного английского словосочетания «Sea Shells» (морские раковины). Раковин здесь действительно множество, но к наименованию островов они не имеют никакого отношения. Сначала португальцы нарекли острова архипелагом Семи сестер. Позже, в 1742 году, самый крупный остров французы «окрестили» островом Изобилия (Ile d'Abondance), два года спустя переименовали его в честь французского губернатора Маврикий Маэ де ла Бурдонне, так утвердилось название острова Маэ. А весь архипелаг в 1756 году был назван Сейшельским в честь министра финансов короля Людовика XV Виконта Моро де Сейшея.

Находившиеся во владении французов острова вскоре стали прибежищем морских пиратов, которые нанесли немалый ущерб британскому торговому флоту. Поэтому во время наполеоновских войн англичане приложили все усилия, чтобы завладеть Сейшельскими островами. И завладели, ... но не сразу. На это ушло около 20 лет. Предприимчивый губернатор де Куинси каждый раз после отбытия британской эскадры вновь поднимал

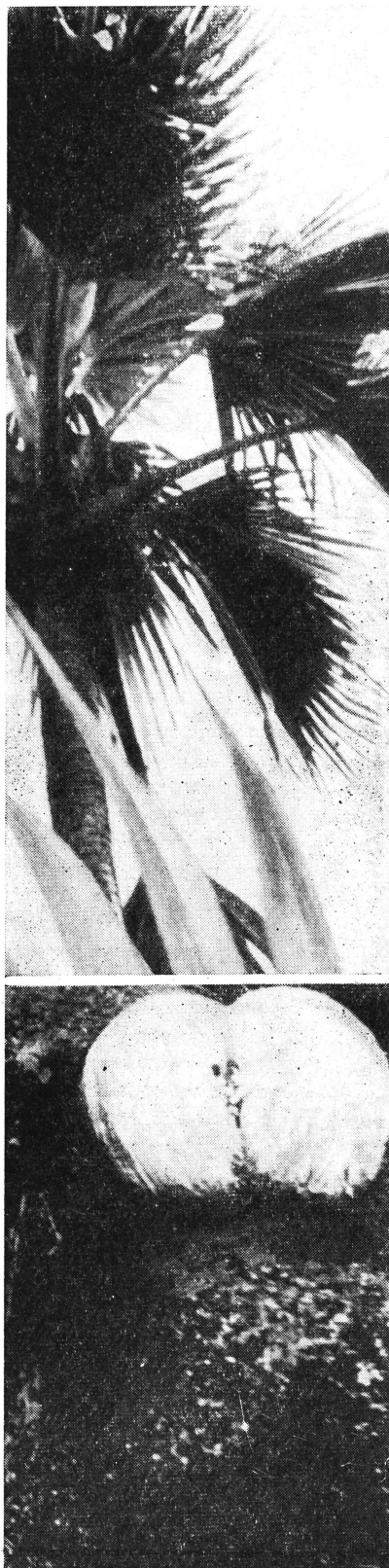
на флагштоке французский флаг. Лишь в 1814 году Сейшельские острова вместе с Маврикией по Парижскому договору окончательно перешли к британской короне.

С тех пор на Сейшельских островах царит курьезное смешение двух языков и двух культурных традиций — французской и английской. Креолы — основное население островов — говорят на своем диалекте «патуа» (patois), в основе которого лежит французский язык. Считается, что этот диалект удивительно похож на «патуа» французской Вест-Индии (Антильские острова). Очень многие жители равно хорошо владеют как французским, так и английским языком. Газеты в Виктории выходят на двух языках. Известный на британских территориях сухой закон для туземного населения здесь не действует, да ведь на Сейшельских островах и нет резкой грани между европейским и туземным населением. Поражает непрерывная гамма всех цветов и оттенков кожи и очевидное смешение самых различных этнических групп. Креолы и особенно креолки необыкновенно красивы. На острове очень много детей. Во время школьных перемен шумные и подвижные стайки детей, как цветники, пестрят на школьных дворах, и веселый детский галдеж слышен за несколько кварталов.

В центре города Виктории стоит сверкающий серебряной краской монумент — миниатюрная копия лондонского Биг-Бэна с часами. Пожа-

Крона мужского экземпляра морского кокоса

Плод морского кокоса без верхней оболочки





луй, это единственная архитектурная деталь, зримо подтверждающая, что вы находитесь в британских владениях. Что-то есть неуловимое в общем колорите города и архитектуре домов, в облике и одежде людей, в стиле маленьких лавчонок. Это «что-то» напоминает нам Францию или, по крайней мере, страну романской культуры. От прошлого остались лишь названия ресторанов, красочные почтовые марки с изображением пиратских кораблей и дележа добычи, да неутомимые кладоискатели, которые все еще живут на Сейшельских островах.

Местные власти объявили национальными заповедниками наиболее интересные и богатые природными ресурсами острова и акватории. Сейшельцам действительно есть что любить и есть что оберегать. Поражает изобилие чистой пресной воды. В прибрежных водах насчитывается около 880 видов рыб, 120 разновидностей морских раковин. На острове обитает множество редких птиц, которых не встретишь ни в каких других странах мира. Здесь можно увидеть гигантских черепах с соседних коралловых атоллов Альдабра. Такие черепахи встречаются еще на Галапагосских островах — на противоположной стороне земного шара. О коралловых рифах, окружающих острова, о разнообразии и чарующем подводном «царстве» можно рассказывать бесконечно. Кто хоть раз погружался в голубые дебри коралловых рифов у острова Праслен или плавал над белыми песчаными равнинами вокруг острова Курьез, никогда не забудется от манящего зова нетронутой природы.

На Сейшельских островах растут шесть эндемичных видов пальм. Среди них — морской кокос (*Ladoicea Maldivica*). Эта раздельнополая пальма достигает в высоту 30—35 м. Она приносит удивительные плоды — огромные двойные орехи весом до 20 кг в глянцевиной зеленой оболочке. Орехи наполнены желеобразной мякотью, которой приписывают различные целебные свойства. Скорлупа орехов идет на различные кустарные поделки. Эти пальмы растут только на острове Праслен и только в долине Мая — Сейшельском национальном заповеднике. Так случилось, что на всей Земле есть лишь один маленький уголок (не считая Ботанического сада в городе Виктории) площадью несколько квадратных миль, где можно найти морской кокос в своем естественном дикорастущем виде. Первое цветение пальм происходит примерно на двадцать пятом году роста, а ореху требуется несколько лет на созревание. Ученым до сих пор не удалось установить, каким образом происходит опыление у этих пальм. От жителей Сейшельских островов и сегодня еще можно услышать романтическую легенду о том, как в полночь пальмы спускаются вниз по долине к океану, где они свершают свадебный обряд, а с восходом солнца возвращаются на свои места.

В долине Мая для туристов проложена узкая тропа. Через густой свод веерообразных пальмовых листьев почти не проникает солнечный свет. Видимо, здесь почти не бывает ветра. Капли дождя, стекая через узор листьев, попадают в одни и те же места и вызывают причудливую эрозию почвы. В густой листве масса птиц, в том

числе — редкие черные попугаи. Когда птицы смолкают, в долине, под сводами пальм, воцаряется плотная ватная тишина.

На Сейшельских островах очень мало насекомых и среди них совсем нет ядовитых. Говорят, что нет и ядовитых змей. Такие распространенные в тропиках болезни, как малярия, тиф, чума, инфекционная желтуха, желтая лихорадка, здесь не известны.

Столь необычно пышная природа, по-видимому, связана и с не совсем обычным геологическим прошлым этой части нашей планеты. Острова сложены древнейшими гранитами, которым около 600 млн. лет. В Мировом океане лишь немногие острова сложены из гранитов, так как эта порода свойственна материкам, а для ложа океанов характерны базальты. Чем объяснить столь своеобразное геологическое строение Сейшельских и некоторых других островов, расположенных между Мадагаскаром и Индостанским полуостровом? Некоторые геологи полагают, что эти острова — остатки расколовшегося древнего материка Гондваны, который в отдаленные геологические эпохи объединял Африку, Индостанский полуостров и Австралию.

Не исключено, что гипотеза о дрейфе континентов найдет в своеобразии геологического строения и фауны Сейшельских островов еще одно подтверждение.

Кандидат географических наук
К. Н. ФЕДОРОВ

Фото автора



Геофизические исследования в ледовитых морях

В последние годы все более пристальное внимание геологов и геофизиков привлекают шельфовые моря СССР. Их изучение сулит открытия крупных месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых. Исследование геологического строения морей необходимо также для развития знаний об истории их возникновения и эволюции Мирового океана, а также для выяснения вопроса о генетическом и тектоническом соотношении двух разновидностей земной коры — материковой и океанической.

На необходимость геолого-геофизического исследования необъятных просторов шельфовых морей указывают директивы XXIV съезда КПСС, где первоочередной задачей названо изучение геологического строения прибрежных шельфовых зон морей и океанов с целью поисков месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых.

Как известно, при геологическом исследовании суши, на поверхности которой часто обнажаются коренные горные породы, основным видом исследований является геологическое картирование, состоящее в непосредственных геологических наблюдениях и анализе отобранных образцов горных пород. В глубины геологических образований, скрытые под мощной толщей рыхлых отложений, геологи проникают с помощью бурения. На море все сложнее. Многометровая толща воды препятствует непосредственному изучению горных пород в естественном их залегании. Бурение на море при современных технических средствах затруднительно и, кроме того, чрезвычайно дорого стоит. Поэтому ведущая роль при изу-

чении геологического строения дна морей и океанов принадлежит геофизическим методам.

В настоящее время в распоряжении морских геофизиков находятся разнообразные методы исследований: гидромагнитная съемка с буксируемыми магнитометрами, морская гравиметрия, морская сейсморазведка и сейсмоакустика, радиоактивные методы измерений и так далее. Все это успешно применяется в южных морях, где нет льда. А как же на Севере, где большая часть морей покрыта огромными дрейфующими массивами льда? Ведь лед представляет серьезную опасность и для самих судов, и для буксируемой за судном аппаратуры. До недавнего времени геофизики ограничивались при изучении арктических морей только аэрометодами и исследованиями с дрейфующих полярных станций.

Комплексные геофизические исследования с судов проводились только на отдельных открытых участках в сравнительно небольшом объеме. На остальной акватории северных морей такие работы не ставились: проведение их считалось невозможным. До сих пор все попытки работы с геофизическими буксируемыми системами в ледовитых морях кончались неудачей. Большие трудности создает также отсутствие необходимого количества специально оборудованных для этого экспедиционных научных судов ледового класса.

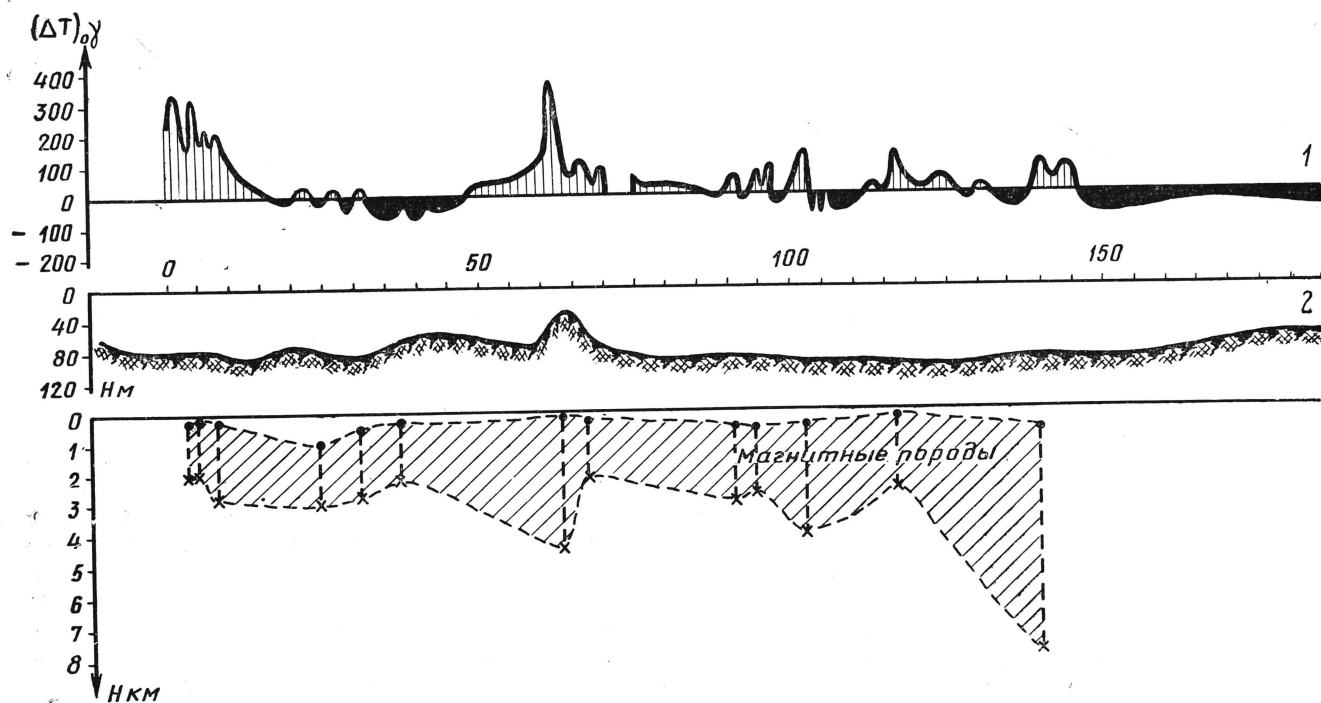
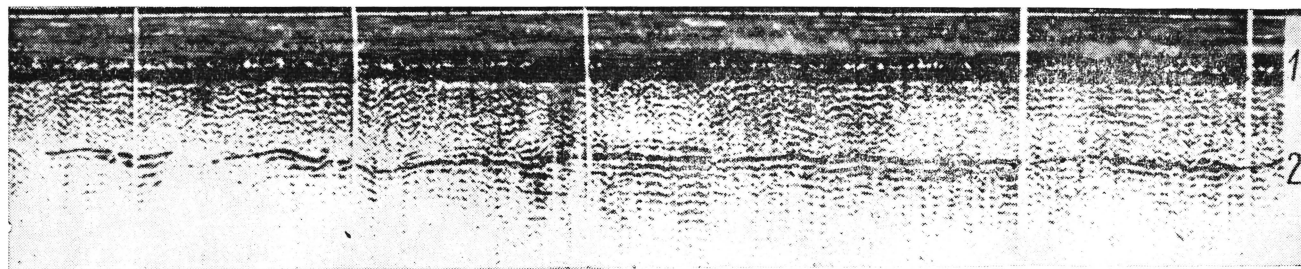
Для постановки морских геофизических исследований решили использовать суда, отправляющиеся в плавание по Северному Морскому пути. Эти суда обычно ждут благоприятной ледовой обстановки на от-

дельных участках Северного Морского пути. А что, если с этих судов проводить попутные геофизические работы? Ведь вынужденную стоянку можно использовать для обследования участков морских акваторий.

Давним инициатором проведения таких работ был академик Л. А. Зенкевич. Путь к реальному осуществлению этой идеи нашел директор Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР член-корреспондент АН СССР А. С. Монин. Для проведения рекогносцировочных морских геофизических исследований на акватории шельфовых морей Севера в 1972 году была организована первая Полярная экспедиция Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР. Много труда и энергии вложил в организацию первой Полярной экспедиции старший научный сотрудник института Игорь Михайлович Белоусов. Только безвременная смерть помешала ему возглавить эту экспедицию.

Было запланировано проведение в 1972 году попутных геофизических исследований с одного из судов, направляемых в плавание по трассе Северного Морского пути. Судну предстоял долгий и трудный путь. Экспедиции предстояло выяснить: можно ли среди дрейфующих льдов и при весьма низких температурах воды выполнить гидромагнитную и сейсмоакустическую съемку с буксируемыми системами? Удастся ли протащить длинные кабели со специальными датчиками и сейсмическую косу так, чтобы не оборвать их, зацепив за дрейфующий лед?

Наряду с решением этих вопросов перед экспедицией стояла задача изу-

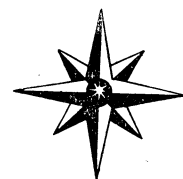


Геоакустический разрез земной коры. Он построен по результатам наблюдений сейсмопрофилографом «Спаркер». На сейсмограмме под поверхностью дна (1), на глубине около 150 м от нее, отчетливо прослеживается второй отражающий слой (2). Геоакустические разрезы помогают геологам изучать характер залегания слоев, а также их дифференцированность. На рисунке видны вертикальные белые просветы — это отметки времени через каждые 10 минут

Геомагнитный разрез земной коры. На верхнем графике (1) нанесена кривая значений аномального магнитного поля (ΔT) в гаммах. Положительные величины — над горизонтальной осью, отрицательные — под ней. На среднем графике (2) представлен рельеф дна. На нижнем графике приведен геомагнитный разрез. Он построен в результате расчета глубин залегания верхних (показано точками) и нижних (показано крестиками) границ магнитных тел. Такой разрез позволяет судить о мощности и характере залегания магнитного слоя

чить рельеф дна, структуру аномального магнитного поля, сейсмоакустические характеристики. В экспедицию вошло 10 научных сотрудников Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР и Научно-исследовательского института геологии Арктики. Научным консультантом на первом этапе экспедиционных работ была профессор Р. М. Деменицкая, известная своими исследованиями в области геофизического изучения Севера.

В программу геофизических исследований входили гидромагнитная



ЭКСПЕДИЦИИ

съемка с буксируемым магнитометром, акустическое сейсмопрофилирование и эхолотный промер. Для проведения гидромагнитных наблюдений использовался протонный магнитометр, сконструированный советскими специалистами Р. Т. Васильевым и И. И. Беляевым. Датчик магнитометра в специальной гондоле буксировался за судном на немагнитном четырехжильном кабеле. Для исключения искажающего влияния курсовой девиации гондола буксировалась за судном на расстоянии, равном двойной длине корпуса корабля. Кроме того, на участке со спокойным магнитным полем проводилось специальное определение курсовой девиации.

На всем пути следования самописец чертил непрерывную кривую значений магнитного поля. Данные измерений обрабатывались на борту судна и по результатам обработки строились графики и карты аномального магнитного поля. Здесь же на борту судна сотрудники геофизического отряда рассчитывали глубину залегания верхней и нижней границ магнитных тел и их намагниченность. Эти магнитные тела — чаще всего изверженные породы, залегающие в немагнитных осадочных породах. Таким образом, по результатам количественной интерпретации были построены геомагнитные разрезы, позволяющие проследить характер изменения геологического строения на труднодоступных акваториях арктических морей.

Для проведения сейсмоакустических исследований использовался электрогидравлический сейсмопрофилограф системы «Спаркер», изготовленный в конструкторском бюро Ин-

ститута океанологии АН СССР имени П. П. Ширшова под руководством Б. В. Шехватова и Н. Н. Соломевича.

На первом этапе, благодаря возможности автономного плавания, экспедиции удалось успешно провести геофизические работы не только на пути следования судна, но и на специальных разрезах. Завершив эти работы, судно присоединилось к каравану. Все дальнейшие работы из-за тяжелой ледовой обстановки проводились на пути следования каравана.

Наиболее трудными участками оказались пролив Вилькицкого и море Лаптевых. Здесь ледоколам приходилось буксировать каждое из проводимых судов поодиночке.

Большую трудность для плавания и проведения морских геофизических работ представляли огромные массы многолетнего дрейфующего льда в Восточно-Сибирском море. При сейсмоакустическом профилировании в шельфовых морях возникали, кроме того, осложнения из-за сильного опреснения воды в ряде районов. Несмотря на это, впервые удалось на отдельных участках провести гидромагнитную съемку и сейсмоакустическое профилирование. Комплексные маршрутные геофизические наблюдения производились непрерывно на всем пути.

Научные сотрудники первой Полярной экспедиции выполнили поставленные перед ними задачи. Несмотря на трудную ледовую обстановку, неблагоприятные метеорологические и гидрографические условия, экспедиция успешно завершила свой рейс.

Полярная экспедиция Института океанологии впервые доказала возможность проведения геофизических

работ в ледовитых морях. Получены новые геофизические сведения о геологическом строении северных морей.

Впервые в практике геофизических исследований осуществлена гидромагнитная съемка на акватории труднодоступных ледовитых морей, изучена верхняя часть геомагнитного разреза. Результаты количественной интерпретации данных геомагнитной съемки позволили оценить мощность осадочного чехла на отдельных акваториях. Сопоставление результатов гидромагнитной и аэромагнитной съемки показало, что на отдельных шельфовых морях гидромагнитная съемка в ряде случаев обладает большей эффективностью при изучении верхней части геомагнитного разреза.

Впервые проведены сейсмоакустические исследования в ледовитых морях. Полученные данные свидетельствуют об успешном применении сейсмоакустических методов в изучении геологического строения шельфовых морей. Опыт совместного применения сейсмоакустического профилирования и гидромагнитной съемки доказал эффективность их комплексного использования при поисках нефти.

Таким образом, попутные комплексные исследования с судов, требующие минимальных экономических затрат, по-видимому, смогут в значительной степени обеспечить решение задач геологического изучения и тектонического районирования шельфовых морей Севера.

В. М. ГРИНБЕРГ
Кандидат геолого-минералогических наук
А. М. ГОРОДНИЦКИЙ



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Кандидат педагогических наук
Е. П. ЛЕВИТАН

Школьная астрономия вчера, сегодня и завтра

ЧЕМУ И КАК УЧИЛИ РАНЬШЕ

Люди старшего поколения хорошо помнят, как прежде обучали основам астрономии. У некоторых и сейчас еще хранятся наряду с популярными книжками Фламариона и Клейна неоднократно переиздававшиеся в свое время учебники космографии Щербакова, Попруженко. Составители учебников стремились сделать их «краткими и точными», пригодными к «наименьшим и наибольшим требованиям программ», разгруженными от второстепенных подробностей. Сегодня, спустя почти три четверти века после выхода в свет этих учебников, бессмысленно перечислять присущие им недостатки. А вот добротность их отметить, пожалуй, не лишне. С завидным чистосердечностью и мужеством авторы прежних учебников в предисловиях к различным изданиям обстоятельно перечисляли внесенные изменения, уточнения, дополнения, а «ученые комитеты» органов Народно-го просвещения рекомендовали к печати каждое издание...

В средних учебных заведениях того времени еще говорили о «гипотезе Коперника», а галактика в Андромеде рассматривалась как пример «веретенообразной туманности». О ней в подстрочном замечании сообщалось, что, «строго говоря, она не должна считаться туманностью».

Чему же посвящались уроки астрономии, которые в большинстве средних учебных заведений проводились два раза в неделю, а не один, как у нас сейчас? Предметом обучения была главным образом математическая география, «сверх того» в курсе космографии излагались «краткие сведения о небесных телах вообще»: их

движение, физическое устройство и химический состав. Иными словами, основное внимание уделялось сферической и практической астрономии. Астрометрическим сведениям и отчасти элементам небесной механики посвящалось почти все время, отводимое на изучение астрономии, причем, как известно, преподавание почти во всех средних учебных заведениях велось «меловым» методом, то есть с помощью доски и мела. Стремясь преодолеть господствующее схоластическое и абстрактное преподавание, лишь некоторые учителя и методисты, чтобы заинтересовать учащихся, пытались вводить в учебный процесс наглядные пособия и наблюдения. Но, учитывая содержание курса, сделать его интересным не всегда удавалось.

«Своеобразным» было и воспитательное значение курса. В дореволюционной школе вообще не допускалась критика религии, в учебниках не упоминались имена Галилея и Бруно, почти ничего не говорилось об эволюции небесных тел. Только в молодой советской школе учителя астрономии стали поднимать мировоззренческие вопросы, правда, вначале дело преимущественно сводилось к рассказам о движении Земли и биографиям ученых, отстаивавших гелиоцентрическую систему мира.

В 1932 году, то есть уже более 40 лет назад, астрономия стала самостоятельным предметом, имеющим важное идеологическое значение. Вскоре появился первый стабильный учебник для средней школы. Его написали профессор М. Е. Набоков и Б. А. Воронцов-Вельяминов. Четверть века назад он был заменен многократно переиздававшимся

учебником члена-корреспондента Академии педагогических наук СССР Б. А. Воронцова-Вельяминова.

ШКОЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ 70-Х ГОДОВ

С 1969/70 учебного года ведется преподавание астрономии по новой программе*. В отличие от всех предыдущих программ, в ней акцентируется внимание на вопросах астрофизики, и лишь в вводной части кратко и очень элементарно раскрываются некоторые понятия сферической астрономии, необходимые для выполнения наблюдений и работы со звездной картой. Основные разделы посвящены строению Солнечной системы, физической природе входящих в нее небесных тел, природе звезд, строению нашей и других галактик, происхождению и развитию небесных тел. Такая направленность школьного курса астрономии отражает тенденции современной астрономической науки, в которой непрерывно возрастает роль астрофизики; сближает курс астрономии с курсом физики; позволяет показать неисчерпаемость Вселенной и величие Человека, который смело использует Вселенную как грандиозную физическую лабораторию. Значительно расширяются воспитательные, идеологические возможности курса астрономии. Весьма вероятно, что когда удастся увеличить объем курса, можно будет более подробно излагать в школе вопросы сферической и практической астрономии.

* «Земля и Вселенная», № 1, 1968 г., стр. 80.



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

В 10 классе средней школы или на III курсе профессионально-технических училищ учащиеся не впервые встречаются с астрономией: ее элементы преподаются в курсе природоведения, физической географии и других предметов*. Изучение систематического курса астрономии должно в значительной степени опираться не только на эти предварительные астрономические знания учащихся, но и на их знания физики и математики. Последнее осуществить особенно трудно: курс астрономии начинается раньше, чем заканчивается изучение основных разделов физики и математики. Разумеется, наивно думать, что «выходом из положения» могли бы стать ликвидация курса астрономии и включение глав астрономии в курс физики, ибо при этом теряется специфика астрономии, теряется целостность создаваемой ею картины мира, резко снижаются идеологические возможности астрономии как учебного предмета. (Не говоря уж о том, что вопросы астрономии станут первыми кандидатами при всякого рода сокращениях и упрощениях школьного курса физики!) По-видимому, наиболее перспективен путь, следуя которому, намечается организовать обучение астрономии в профессионально-технических училищах. Очень небольшой курс астрономии будут преподавать после того, как учащиеся пройдут основные разделы физики и математики.

Известно, что к современному уроку астрономии предъявляются очень высокие требования: каждый урок

должен быть исключительно эффективен и информативен. Это должно быть достигнуто различными способами и, в частности, с помощью широкого использования аудиовизуальных средств обучения, демонстрационных карт, моделей и приборов по астрофизике, пособий и приспособлений, предназначенных для самостоятельной работы учащихся. Плодотворна деятельность экспертной комиссии по астрономии при Научно-исследовательском институте школьного оборудования и средств обучения Академии педагогических наук СССР. Эта комиссия, возглавляемая профессором Н. П. Грушинским и его заместителем доцентом А. Д. Марленским, разрабатывает новое учебное оборудование по астрономии, а также уделяет большое внимание модернизации ранее созданных школьных телескопов, демонстрационных моделей и приборов, диафильмов, таблиц, карт, диапозитивов, кинофильмов. Важно, что уже сейчас средствами статичной проекции (диафильмы, диапозитивы) удалось экранизировать курс астрономии. Создана не только серия диапозитивов, но и серия учебных (черно-белых и цветных) диафильмов. 17 выпущенных в свет учебных диафильмов охватывают все уроки астрономии. Так на практике обеспечивается решительный отход от словесного, математизированного, «мелового» метода изложения основ астрономии. В еще большей степени можно будет повысить эффективность уроков астрономии, демонстрируя на них новые учебные кинофильмы и телепередачи.

В век космоса многие учащиеся средних школ проявляют довольно

глубокий интерес к астрономии, желают узнать о ней больше, чем предусмотрено школьной программой. Удовлетворить этот интерес призваны факультативные курсы для учащихся 7—9 классов («Основы мироведения», «Основы космонавтики», «Физика космоса»), а также разнообразные формы внеклассной и внешкольной работы по астрономии. При многих школах, Домах и Дворцах пионеров, станциях юных техников, планетариях и народных обсерваториях организованы кружки, клубы и общества юных астрономов. Кроме того, школьники, желающие заняться научно-исследовательскими астрономическими наблюдениями, имеют возможность проявить свои способности в юношеской секции Всесоюзного астрономо-геодезического общества (ВАГО), участвовать в деятельности отдела любительского телескопостроения ВАГО.

Итак, сделано немало. Но несмотря на это, еще очень низок уровень преподавания астрономии во многих школах. За кажущимся благополучием нельзя не видеть серьезных недостатков, следствием которых является все еще встречающаяся безграмотность выпускников средних школ в элементарных вопросах астрономии. И это, пожалуй, не случайно: ведь до сих пор астрономия в школе остается по существу беспризорным предметом. Как ни парадоксально, но ни в Министерстве просвещения СССР, ни в министерствах союзных республик нет ни одного инспектора, который бы специально (а не по совместительству с физикой) занимался астрономией. Нет методистов-астрономов в институтах усовершенст-
ва-

* «Земля и Вселенная», № 5, 1969 г., стр. 72.



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ния учителей. Нет лаборатории обучения астрономии при Академии педагогических наук СССР. Мечтой остается журнал «Астрономия в школе», создание которого пока считается у нас излишней роскошью. (Известно, что в ГДР, где объем курса астрономии не больше, чем у нас, журнал «Астрономия в школе» с огромной пользой издается уже девятый год!). Все это, конечно, очень затруднило подготовку учителей астрономии к преподаванию по новой программе. Новая программа обсуждалась долго (хотя и довольно вяло), а вот учебник по астрономии, в отличие от учебников по физике, был издан с излишней поспешностью и без широкого обсуждения и эксперимента утвержден стабильным. Правда, с каждым переизданием уменьшается число вкрапшихся в него досадных ошибок, неточностей и опечаток, но остаются присущие **учебнику** серьезные недостатки методического характера. Реализация в учебнике идей новой программы традиционными способами не облегчила, а наоборот, затруднила работу учащихся и учителей. До сих пор не издано методическое пособие для учителей астрономии, а рукопись книги, которая готовится сейчас к выходу в свет, Министерство просвещения СССР и издательство «Просвещение» так и не пожелали обсудить с астрономической общественностью и учителями астрономии...

Подобное положение заслуживает должного внимания. Очень серьезный и полезный разговор о перспективах развития советской средней школы состоялся в ноябре 1972 года в Московском Дворце пионеров, где проходил пленум Ученого методического

совета Министерства просвещения СССР. Немало интересных соображений, имеющих прямое или косвенное отношение к нынешнему состоянию и дальнейшему развитию астрономического образования, было высказано в докладе министра просвещения СССР М. А. Прокофьева и в выступлениях вице-президента Академии педагогических наук СССР М. И. Маркушевича, академиков И. К. Кикоина, А. Н. Колмогорова, директора издательства «Просвещение» Д. Д. Зуева, председателя подкомиссии Ученого методического совета по астрономии Э. В. Кононовича. Были вновь подняты важные вопросы, на которые много раз обращала внимание астрономическая общественность нашей страны. Э. В. Кононович, в частности, справедливо отметил, что организация и осуществление преподавания, а также подготовка кадров учителей астрономии нуждаются в существенном улучшении.

Но устранить имеющиеся недостатки нужно как можно скорее. Это должно стать делом сегодняшнего дня. Здесь большое поле деятельности разворачивается для совместной работы органов просвещения и астрономической общественности. Не лишне напомнить, что ВАГО всегда энергично содействовало упрочению, развитию и совершенствованию преподавания астрономии в средней школе. Резолюции съездов и пленумов ВАГО проникнуты заботой о том, чтобы астрономию в школе преподавали квалифицированные учителя, чтобы молодежь с увлечением и пользой изучала одну из самых прекрасных наук о природе. Учебно-методическая секция Центрального совета ВАГО

под руководством профессоров П. И. Попова, Р. В. Куницкого и В. В. Радзиевского на протяжении многих лет выступала и выступает инициатором и самым активным участником разработки учебных программ и различных пособий для учителей и учащихся. Известно, что учебно-методические секции отделений ВАГО непосредственно оказывают значительную помощь учителям астрономии. Помощь со стороны астрономической общественности очень нужна органам народного просвещения. Едва ли, например, можно сейчас без ВАГО успешно решать такие вопросы, как проверка состояния преподавания астрономии, повышение квалификации учителей астрономии, проведение широких и полноценных педагогических экспериментов и так далее. Хорошо, что в последнее время стал налаживаться контакт между подкомиссией по астрономии Ученого методического совета Министерства просвещения СССР и учебно-методической секцией ВАГО. Это нужно приветствовать, ибо только совместная дружная работа может привести к успеху.

АСТРОНОМИЯ В ШКОЛЕ БУДУЩЕГО

Чему и как обучать астрономии в средней школе (и профессионально-технических училищах) конца XX и начала XXI века? Это трудноразрешимые вопросы. Общеизвестно, что прогнозирование — очень сложное и часто весьма неблагоприятное дело: стремительное развитие науки (особенно, астрофизики!) и техники (особенно, космической техники!) в эпоху невиданной ранее научно-технической революции нередко объявляет несо-

стоятельными даже самые смелые (и казалось бы, весьма аргументированные!) прогнозы. А ведь именно уровень развития науки и техники определяет содержание обучения. И все же прогнозирование необходимо.

Как и сейчас, одной из основных задач, стоящих перед школьным курсом астрономии, будет формирование диалектико-материалистического мировоззрения и неразрывно связанное с этим атеистическое воспитание учащихся. Мировоззренческие и атеистические задачи решаются в процессе изучения системы данных о Вселенной и методов, с помощью которых человек познает Вселенную. Курс астрономии поможет учащимся почувствовать себя не только свидетелями, но и активными участниками космической эры, а для этого в школе необходимо сообщать минимум знаний по небесной механике, знакомить с основными этапами освоения космоса и достигнутыми научными и народнохозяйственными результатами, давать представление о перспективах развития космических исследований. Являясь мировоззренческим общеобразовательным предметом, заметно влияющим на образованность и культуру молодежи, школьная астрономия сумеет привить ученикам умение и практические навыки. Выпускники средней школы должны быть не только знакомы с достижениями астрономии и космонавтики, не только иметь представление о связи астрономии с физикой, философией, геофизикой и геодезией, но и научиться объяснять различные наблюдаемые явления, находить основные созвездия и звезды, уметь ориентироваться по Солнцу и звездам, приобрести навыки работы с

оптическими инструментами (бинокль, школьный телескоп, школьный теодолит), уметь решать доступные им астрономические задачи. Уместно подчеркнуть, что уже в настоящее время специалисты по методике преподавания физики совместно с крупными учеными-физиками пытаются по-новому осмыслить понятие политехнизма по отношению к своему предмету. Во избежание старых ошибок и примитивных рекомендаций, далеких от возможностей школьного преподавания, следовало бы уже сейчас взяться за аналогичную работу и в области методики преподавания астрономии.

В дореволюционных трудах педагогов и популяризаторов, как и в сочинениях ряда современных коллег в капиталистических странах, содержатся призывы «с изумлением наблюдать необъятную ширь звездного неба», чтобы наполнить сердца людей «искренним благоговением к богу, воля которого царит в мировых законах»; в них говорится о «силе духа, проникающего в глубины мироздания», но подчеркивается «ничтожество человека и ограниченность его существования»; призывая к созерцанию неба, они не забывают призывать и к смирению. В противоположность этому, советская школа ставит перед собой задачу воспитать не только образованных и культурных, но гордых и сильных людей, способных к созидательной и преобразующей деятельности на благо человечества.

В будущем еще больше, чем сейчас, потребуются сделать астрономию **курсом, завершающим физико-математическое и философское образование выпускников общеобразовательной школы и профессионально-техниче-**

ских училищ. Это будет достигнуто не столько за счет увеличения объема курса (а необходимость в таком увеличении, безусловно, возрастает!), сколько в результате **коренного изменения его структуры и содержания.** Подобное изменение совершенно закономерно: ушли в прошлое «счастливые» времена, когда учебные программы действовали без изменения несколько десятилетий. Ныне принятая в школе программа по астрономии через 10—15 лет должна будет смениться другой, перспективной (раньше, чем через 10 лет, это абсурдно делать даже в наше время!), более приспособленной к новым требованиям жизни, к новому уровню подготовки и развития молодых людей, которым в то время придется изучать основы астрономии.

Путь к успеху преподавания астрономии в школе будущего заманчиво искать не просто в постепенном совершенствовании ныне существующей методики обучения, а в создании качественно новой **теории обучения**, базирующейся на достижениях современной педагогической психологии. Известное обобщение эти достижения нашли в работах ряда советских педагогов и психологов, в частности, в трудах члена-корреспондента Академии педагогических наук СССР Н. Ф. Талызиной. Задача состоит в том, чтобы от совокупности приемов сообщения знаний (то есть от методики в ее нынешнем виде) перейти к эффективному управлению процессом усвоения знаний. Это, в свою очередь, как раз и потребует коренного изменения структуры учебного предмета (программа, учебник) и создания более совершенной методики использо-

вания учебного оборудования, более совершенной системы познавательной деятельности учащихся (лабораторные, астрономические наблюдения и так далее) и научно обоснованной системы контроля усвоения знаний и приобретенных в процессе обучения навыков.

Известно, что в настоящее время астрономия, как и ряд других учебных предметов, строится индуктивно, то есть в ней рассматривается изолированно друг от друга много частных явлений, вместо того чтобы **выводить их из общих законов и принципов**, лежащих в основе астрономической науки. В преподавании астрономии издавна используются такие принципы дидактики, как систематичность, доступность, наглядность, но здесь еще не получила распространения **системность** в построении курса. Между тем именно системный подход таит в себе возможности интенсификации учебного процесса, наиболее эффективное использование межпредметных связей, экономию драгоценного учебного времени.

В курсе астрономии предстоит выделить главные **информационные единицы** (основные элементы) учебного материала, дать ребятам метод работы с ними, научить школьников самостоятельно анализировать частные случаи, **разработать систему умственных действий учащихся** (упражнения, наблюдения и так далее). Только в этом случае обучение не на словах, а на деле станет **проблемным**, то есть таким, в ходе которого школьники самостоятельно и непрерывно совершают «открытия».

Особое внимание должно быть уделено **последовательности** построения

курса. Если принятая последовательность будет вытекать из логики самого предмета и соответствовать возрастным особенностям ребят, то не придется перегружать их память, многое они сумеют сами вывести, вычислить и тому подобное. При этом сократится объем учебного материала, но не уменьшится (возможно, возрастет) объем сообщаемой информации.

Давно уже выработался традиционный подход к изложению основ астрофизической части школьного курса. Обычно учащиеся сначала узнают о Земле, Луне, планетах, малых телах Солнечной системы, а затем о Солнце, звездах, звездных системах. Подобный подход с педагогической точки зрения оправдан: процесс познания идет от известного (наша планета) к неизвестному (другие планеты, Солнце, звезды). Однако такое оправдание правомерно лишь тогда, когда в курсе астрономии учащиеся получают первоначальные знания, например, впервые знакомятся с небесными телами. Но уже сейчас в курсе природоведения учащиеся 4 класса (!) знакомятся с астрономическими понятиями; затем эти знания углубляются при изучении географии, физики и других предметов. Поэтому в дальнейшем **можно будет изменить** основную последовательность изложения учебного материала и, закончив изучение исходных законов и принципов, приступить к изучению Солнца и мира звезд, а уж затем планет и их спутников*. Примерно так, как это

* Это лишь один из возможных **нетрадиционных** подходов к изложению школьного курса астрономии. Мыслимы и другие. Их анализ выходит за рамки данной статьи. (Прим. автора).

сделано в «Курсе общей астрофизики» профессора Д. Я. Мартынова. Но вот почему-то преподавание **общей астрономии** в педагогических институтах (да и, по существу, в университетах) до сих пор придерживается «школярской» последовательности изложения. **Может быть, отсюда и начать изменения?** Это принесло бы, во-первых, пользу делу обучения и воспитания студентов и, во-вторых, явилось бы своеобразной подготовкой к дальнейшему совершенствованию школьной астрономии.

Полезен еще один педагогический эксперимент, который **следовало бы провести в ближайшее время**, это — разработка курса астрономии (программа, учебник, методическое руководство) для средних школ с **углубленным изучением физики и математики**: то, что сегодня приемлемо для немногих учащихся, через 15—20 лет станет необходимым для всех.

В комплексе проблем, от которых зависит высокий уровень преподавания астрономии, есть две важнейшие: школе нужны высококвалифицированные учителя и первоклассные учебники. Первая проблема связана с подготовкой студентов в педагогических вузах и с повышением квалификации учителей астрономии. Эти вопросы следует обсудить отдельно. Здесь же целесообразно сделать ряд замечаний о будущем учебнике, создание которого станет неотложным делом сразу же после разработки перспективной программы по астрономии.

Проблема школьного учебника сложна и многопланова. Не случайно директор издательства «Просвещение» Д. Д. Зуев, выступая на упомянутом совещании в прениях по докладу

министра просвещения СССР М. А. Прокофьева, совершенно правильно поднял вопрос об организации в Академии педагогических наук СССР специальной лаборатории (а в дальнейшем и института!), где разрабатывались бы принципы создания учебников для школ. Но уже сейчас, обобщая опыт, накопленный в нашей стране и ряде зарубежных стран, можно представить, каким должен быть учебник. Понятно, что говорить об этом легче, чем написать сам учебник...

Совершенно необходимо, прежде всего указать на идейную направленность учебника, содержащего не только изложение астрономических фактов, но и их марксистско-ленинское философское истолкование и обобщение. В основу учебника должна быть положена определенная система научных фактов и твердо установленных закономерностей. Однако вряд ли нужно избегать гипотез, столь специфичных для астрономии. Конечно, необходим тщательный отбор учебного материала, ограничивающий проникновение в учебник второстепенных фактов и малозначительных гипотез. В учебнике следует помещать не только результаты исследований, но и методы, с помощью которых эти результаты были получены. Доступность и строгость изложения во многом зависит от языка, которым написан учебник. Об этом, казалось бы, очевидном обстоятельстве нередко забывают и в результате в свет выходят произведения, написанные на редкость сухо и невыразительно.

Но это еще не все. Известно, что хорошую научно-популярную книгу по астрономии школьники читают с удовольствием, не отрываясь, а учеб-

ник астрономии одолевают с неохотой. Почему? Главная причина, по-видимому, заключается в том, что учебник менее увлекателен, чем книга, предназначенная для чтения в часы отдыха. Давая учащимся посредственный материал, мы лишаемся мощного психологического стимула — интереса к изучению астрономии. Идея о том, что учебник должен быть интересным, не нова, но о ней часто забывают!

Приступая к работе над новым учебником, придется немало поразмыслить над тем, как реализовать принципы проблемного обучения, как стимулировать формирование познавательных способностей учащихся и так далее. Решение всех этих вопросов неразрывно связано с внешним оформлением учебника, которое применительно к астрономии имеет особое значение. Речь идет об иллюстративном материале, использовании второго цвета, о применении различных шрифтов и т. д. Если обо всем подумать заранее, если заблаговременно широко обсудить эти вопросы, поспорить и о содержании учебника, оформлении, объеме, а потом подвергнуть критическому анализу рукопись (или, еще лучше, ряд рукописей, **представленных на конкурс**), то, может быть, удастся подготовить удовлетворительное пособие для учащихся (и даже не одно!), а затем после тщательной экспериментальной проверки дать школе стабильный учебник. Примерно так поступили наши коллеги из ГДР, которые выпустили довольно хороший учебник, кстати, составленный по очень сходной с нашей программе*.

* «Земля и Вселенная», № 1, стр. 24 и № 6, стр. 58, 1971 г.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Перед астрономической наукой стоят поистине огромные задачи. В статье «Астрофизике принадлежит будущее» («Природа», № 9, 1972 г.) академик Л. А. Арцимович подчеркивал: «...по-видимому, можно сказать, что началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое положение».

И если в ходе научно-технической революции, развернувшейся во второй половине XX века, астрономия, наряду с физикой и биологией, выдвинулась в первый ряд фундаментальных наук, то с неизбежностью должен быть изменен подход и само отношение к проблемам астрономического образования. Слово за учеными, слово за организаторами дела просвещения и образования подрастающего поколения, слово за учителями и преподавателями астрономии, слово и за учащимися (и к ним необходимо прислушиваться!). Ясно, что совершенствование содержания и структуры школьного курса астрономии неотделимо от научного обобщения передового опыта преподавателей астрономии. Отрыв педагогических экспериментов от практики преподавания и интересов учащихся, выдумывание умозрительных педагогических реформ чревато, как известно, рождением мертворожденных новшеств. Вот почему и ученым, и преподавателям астрономии пора активно и увлеченно включиться в творческую разработку **теории обучения основам астрономии**. Такую теорию предстоит создать. Это будет немаловажный вклад в намеченное партией грандиозное дело — осуществление всеобщего среднего образования.



ИЗ ИСТОРИИ
НАУКИ

Геодезия и картография в России начала XVIII века

Необъятные пространства нашей Родины к началу XVIII века оставались совершенно неизученными в географическом отношении. В то время не было и людей, способных выполнить геодезические и картографические работы. Поэтому для географического изучения России было необходимо прежде всего организовать подготовку астрономов, геодезистов и картографов, поставить просвещение на светских началах.

В 1692 году началось строительство знаменитой Сухаревой башни с намерением учредить в ней «небывалое» училище. Математико-навигационная школа, открытая в 1701 году, переехала в это здание в 1702 году. Здание было превосходно приспособлено к занятиям. Там установили громадный медный географический глобус, в то время самый большой в Европе. Инструментов и книг было достаточно. Астрономические наблюдения ученики производили на обсерватории, устроенной наверху Сухаревой башни. (Нам, живущим в XX веке, остается только сожалеть, что это изумительное сооружение не сохранилось до нашего времени.) В 1715 году в Петербурге открылась Морская академия. Именно в ней были обучены первые русские геодезисты и картографы. С самого начала наибольшим вниманием в Российской Академии пользовались математические науки, заняв первенствующее место в ряду других наук. «Это,— отмечает историк геодезии С. Е. Фель,— безусловно, способствовало правильной постановке, развитию и широкому охвату географического исследования обширной страны и развитию астрономо-геодезиче-

«Государству не может быть инако, яко к пользе и славе, ежели будут такие в нем люди, которые знают течение тел небесных и времени, мореплавание и Географию всего света и своего государства».

Регламент Академии наук. 1747 г.

ских работ в их теоретической разработке и практической постановке*.

Первая инструментальная съемка в России была осуществлена в 1703—1704 годах, когда составлялась карта Дона и юга России. Эти работы выполнялись иностранцами на инструментах, привезенных из-за границы. С 1715 года при дворе Петра Первого начал работать «стеклянных дел подмастерье» Иван Елисеевич Беляев — талантливый оптик и механик, из мастерской которого вышли многие совершенные для той эпохи оптические инструменты. Он и его помощники изготовляли астролябии, нивелиры, теодолиты и другие геодезические инструменты.

Систематическое географическое и астрономо-геодезическое изучение и описание России относятся к 1720 году. Вот как это началось: «В сем же году (1720 г.— А. М.) и именно декабря 9 дня, Великий государь повелел послать геодезии и географии учителей во все губернии обширнейшей своей Империи для снятия всех мест и сочинения ландкарт, определяя жалования каждому из доходов тех губерний, где которые будут, по шести рублей на месяц каждому; а 22 числа оные и разосланы; причем

* С. Е. Фель. Картография России XVIII века. М., 1960 г. стр. 21.

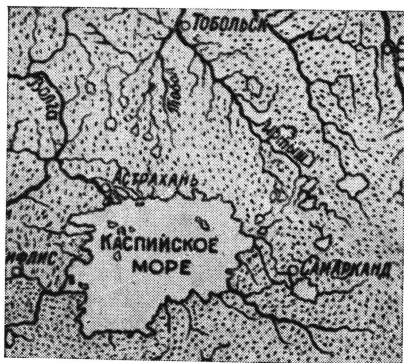
повелено для их разъездов давать повсюду ямские и уездные подводы; а на губернаторов и воевод возложено надсматривать над ними, чтоб не были они праздны и без дела и даром бы жалования не брали; и наконец предписано им, что коль скоро они снимут карты, с которой губернии или провинции, или уезда, толь скоро присылать оныя в Сенат и в Камер-коллегию*. Геодезистам дали обстоятельную инструкцию «Правила как сочинять ландкарты», составленную при участии Петра, он же присутствовал в 1719 г. на выпускных экзаменах геодезистов в Морской академии. Приведем выдержку из этой инструкции: «...2. В ландкартах писать градусы по широте, которые усмотрены будут по квадранту, а долготы от Канарских островов, как в старых ландкартах и в каталогах написано, и от экватора к полюсу по долготы градусы убавлять по пропорции, которая вам показана во академии»**.

Особое значение для сведения съемок по уездам и губерниям в генеральную карту страны имели специально поставленные астрономические определения широт и долгот ряда пунктов. В 1732 году была организована астрономическая экспедиция, причем ее участник астроном А. Д. Красильников определил 11 пунктов на маршруте от Балтийского моря до Камчатки. Впоследствии они оказались наиболее надежными из астро-

* И. И. Голиков. Деяния Петра Великого. 2-е изд., М., 1837—1843 гг., т. 7, стр. 210—211.

** О. А. Евтеев. Первые русские геодезисты на Тихом океане. М., 1950 г., стр. 23.





номических определений того времени.

Выдающимся событием явилась экспедиция двух российских геодезистов Ивана Евреинова и Федора Лужина на Камчатку и Курильские острова. «В январе месяце (1719 г.— А. М.) послал он (Петр Первый — А. М.) двух геодезистов, испытанных им самим в их знании и способностях, Ивана Евреинова и Федора Лужина, придав к ним потребных помощников, в Камчатку и в Курильские острова для описания как Камчатки, так и оных островов, и сочинения оным верной карты, а притом и для узнания, не сошлась ли Америка с Азией, дав им за своею рукою полную о всем инструкцию и почетный указ, по которому все начальствующие в Сибири должны были им в пути их, чего они не пожелают, чинить вспоможение». Научное значение этой экспедиции настолько велико, что говорить о многих ее последствиях следует специалистам-историкам. Результатом ее стали отчет и карты Камчатки и Курильских островов.

В 1722 году в Казань, где Петр го-

Фрагмент карты южной России с портретом Петра Первого

Такими представлялись очертания Каспийского моря до начала XVIII в.

товил флот и армию для войны с Персией, из Tobolska приехал Евреинов: «Явился к Его Величеству прибывший в Казань один из посланных от него геодезистов г. Евреинов в Камчатку и в Курильские острова. Монарх с великим любопытством препровел несколько времени с ним в разговорах и с удовольствием рассматривал сочиненную им и товарищем его Лужиным карту Камчатки и помянутым островам, и описание всего их вояжа. Он был тщаниями их весьма доволен и оказал высочайшее свое к трудам их благоволение». Теперь трудно судить, как реально выразилось царское «благоволение» к геодезистам, известно лишь, что Иван Евреинов умер в 1724 году в Вятке, а Федор Лужин скончался, очевидно, от истощения в 1727 году во время дальневосточной экспедиции; оба были надолго забыты. Дело же их дало России много — описание Камчатки и Курильских островов подготовило экспедицию В. Беринга.

Чрезвычайно интересна история съемки Каспийского моря. Создание карты начинается с Указа от 29 мая 1714 года, предписывающего капитану Преображенского полка князю Александру Бековичу-Черкасскому произвести съемку восточного берега Каспийского моря, выяснив на месте вопрос: впадает ли река Амударья в Каспийское море или нет? Одновременно с Бековичем и после его гибели съемку производили геодезист лейтенант Александр Кожин и поручик Алексей Урусов. Съемку западного берега Каспия выполнили капитан-лейтенант фан-Верден и лейтенант Федор Соимонов в 1719—1720 годах.

Показательно, что все указы, распоряжения и инструкции, относящиеся к этим экспедициям, написаны собственноручно Петром. Он заставлял геодезистов тщательно контролировать работы друг друга, требовал соблюдения своих инструкций. Ни один аспект деятельности геодезистов не проходил мимо его внимания. Так, фан-Вердену и Соимонову (1719 г.) он предписал, «чтобы они, будучи в сем деле, везде распространяли слухи, что описание сие в пользу только торговли делается, хотя другие словесные и тайные приказания ни мало до купечества не принадлежали». Такая предосторожность была необходима, тем паче памятуя о недавней гибели всей экспедиции Бековича, предательски уничтоженной войсками хана Хивинского...

В 1721 году карта Каспийского моря была представлена во Французскую Академию. Научное значение этой карты бесспорно велико: впервые даны действительные очертания Каспийского моря.

Научные мероприятия в России начала XVIII века привели к развитию не только геодезии, но и приборостроения, и астрономии. В то время астрономия имела большое значение, так как позволяла создавать сеть опорных пунктов и координатную основу для составления карт, а это способствовало географическому изучению страны, развитию навигации и мореплавания.

Кандидат технических наук
А. М. МИКИША



НАРОДНЫЕ
ОБСЕРВАТОРИИ
И ПЛАНЕТАРИИ

Народные обсерватории Болгарии

Запуск первого советского искусственного спутника Земли и последовавшие за этим грандиозные успехи в исследовании и освоении космоса пробудили интерес болгарской молодежи к астрономии и астронавтике.

В 1961 году в Стара-Загоре, на крыше одной из городских школ была оборудована астрономическая площадка. Здесь начала работать первая в Болгарии народная обсерватория. В следующем году в Димитровграде открыл двери первый в Болгарии планетарий. Несколько лет спустя в пригороде Стара-Загоры было выстроено здание обсерватории с большой башней, в которой установили 20-сантиметровый телескоп Цейсса. Обсерватории присвоено имя Юрия Гагарина.

Вторая народная обсерватория появилась в Болгарии в 1965 году в городе Белоградчике. Окрестности его славятся причудливыми скалами, очертания которых напоминают живые существа. Среди этих скал и было воздвигнуто здание обсерватории. В 1970 году обсерватория обзавелась 60-сантиметровым рефлектором Цейсса. Еще одна народная обсерватория и планетарий были открыты в 1967 году в Варне. Народная обсерватория носит имя Николая Коперника. Затем были организованы народная обсерватория и планетарий в Ямболе.

Все эти астрономические учреждения создавались энтузиастами — любителями астрономии при поддержке местных партийных и государственных органов. Строительство народных обсерваторий было одобрено в 1966 году специальной инструкцией Министерства народного образования,

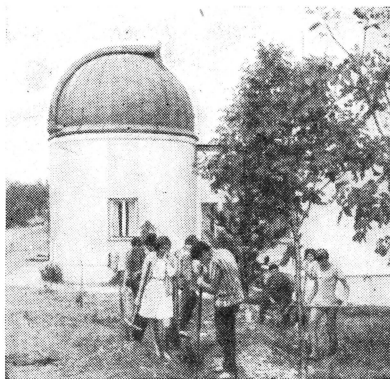
Болгарской Академии наук и Министерства финансов. В решении секретариата Центрального Комитета Болгарской Коммунистической партии от 29 декабря 1966 года записано: «...в больших городах, там, где для этого имеются возможности, создавать народные обсерватории». С первых дней научное руководство обсерваториями осуществляет Секция астрономии Болгарской Академии наук и астрономическая обсерватория Софийского университета.

Какие задачи стоят перед народными обсерваториями Болгарии? Народные обсерватории занимаются популяризаторской деятельностью и атеистической пропагандой среди широких слоев населения. Они содействуют выполнению ряда основных задач идеологической работы, поставлен-

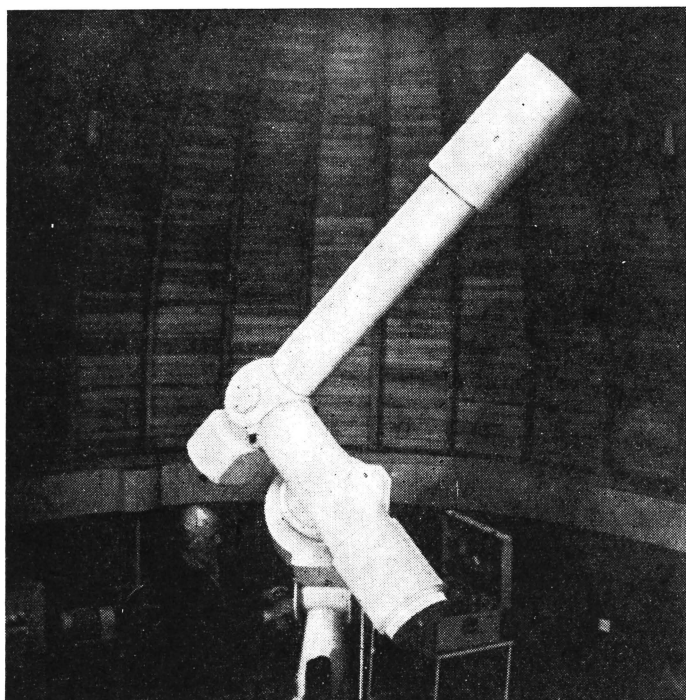
ных Болгарской Коммунистической партией; воспитывают у молодежи вкус и любовь к научно-техническим знаниям, столь необходимым в эпоху научно-технической революции.

Народная обсерватория в Стара-Загоре организовала кино-лектории и провела свыше 1000 научно-популярных лекций. В планетарии Варны состоялось около трехсот лекций, ознакомивших население с достижениями астрономии и астронавтики. Особого внимания заслуживает организованная планетарием «Неделя астрономии». В 1970 году на протяжении недели в Варне и ее окрестностях проходили публичные выступления астрономов. Специалисты Софийской астрономической обсерватории, Болгарской Академии наук посвятили свои доклады успехам в изучении Луны и планет космическими аппаратами. Народная обсерватория в Варне провела своеобразную двухдневную научную сессию. На ней впервые были заслушаны доклады о результатах научных наблюдений, выполненных в народных обсерваториях. Собравшиеся в Варне астрономы решили сделать «Неделю астрономии» традиционной. В 1971 году «Неделя» проводилась в Стара-Загоре. Она была посвящена 10-летию основания первой в Болгарии Народной обсерватории имени Юрия Гагарина. Третья «Неделя астрономии» была организована в Ямболе накануне 15-годовщины со дня запуска первого искусственного спутника Земли.

Народные обсерватории оказывают большую помощь школе. Они работают в тесном контакте с отделами народного образования. Обсерватории предоставляют свои инструменты



Народная обсерватория в Стара-Загоре. В башне установлен 20-сантиметровый телескоп Цейсса. Школьники, принимавшие участие в строительстве обсерватории, благоустраивают ее территорию



для учебных наблюдений, помогают учителям проводить занятия в школьных астрономических кружках. Со временем народные обсерватории должны стать методическими центрами астрономического просвещения. Здесь смогут повышать свою квалификацию учителя астрономии.

В народных обсерваториях работают курсы и кружки по астрономии, астронавтике, ракето-моделированию и другие. Общей учебной программы для курсов и кружков нет, хотя ее основные пункты были намечены еще в 1966 году на совещании по учебной работе в народных обсерваториях, проводившемся в Стара-Загоре.

■ 20-сантиметровый рефрактор Народной обсерватории в Стара-Загоре

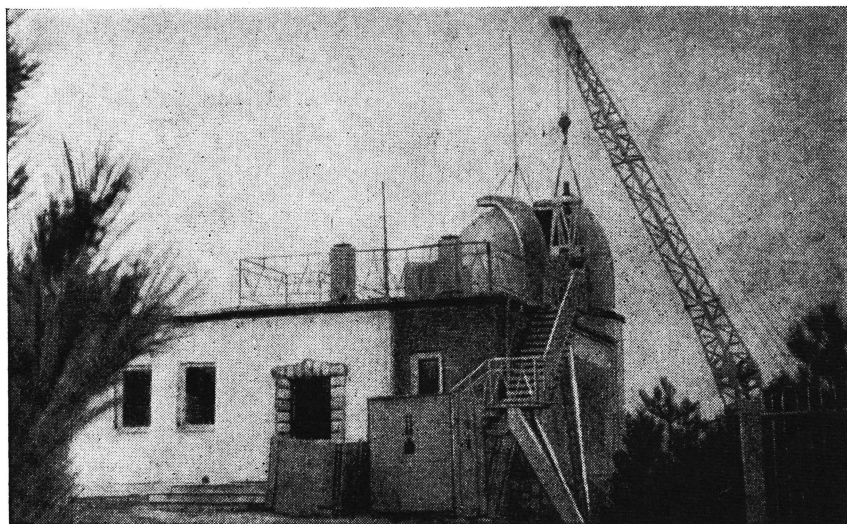
■ Школьники — участники астрономических кружков — регулярно наблюдают искусственные спутники Земли в обсерватории Стара-Загоры

На курсах занимаются преимущественно школьники. Они активно участвуют в повседневной жизни обсерватории, а курсанты старшекласники наблюдают искусственные спутники Земли. Как показал опыт работы народной обсерватории в Стара-Загоре, школьники справляются с визуальными наблюдениями спутников не хуже специалистов-астрономов. Участие болгарских школьников в наблюдении искусственных спутников Земли был даже посвящен доклад на специальной конференции ООН по исследованию космического пространства, которая состоялась в Вене в августе 1968 года.

Юноши и девушки, окончившие курсы при народных обсерваториях, овладевают научными и техническими знаниями. Они часто занимают призовые места на национальных и международных олимпиадах по физике и математике, а после школы, как правило, поступают на физические и математические факультеты

университетов или в технические вузы. Но что еще важнее, они выделяются среди студентов своим горячим стремлением к вершинам науки. Этот огонь, зажженный слабым светом звезд, никогда не погаснет. Именно такими должны быть творцы научно-технического прогресса.

Деятельность народных обсерваторий многогранна. Помимо воспитания молодежи, обсерватории ведут научные наблюдения. В народных обсерваториях Стара-Загоры, Белоградчика и Варны наблюдают искусственные спутники Земли по программе многостороннего сотрудничества социалистических стран. Эта работа неоднократно отмечалась грамотами Астрономического совета Академии наук СССР. Народные обсерватории Болгарии изучают также астроклимат, наблюдают Солнце, метеорные потоки, кометы, покрытия звезд Луной. В обсерваториях уже работают люди с завидным опытом в астрономических наблюдениях. Результаты выпол-

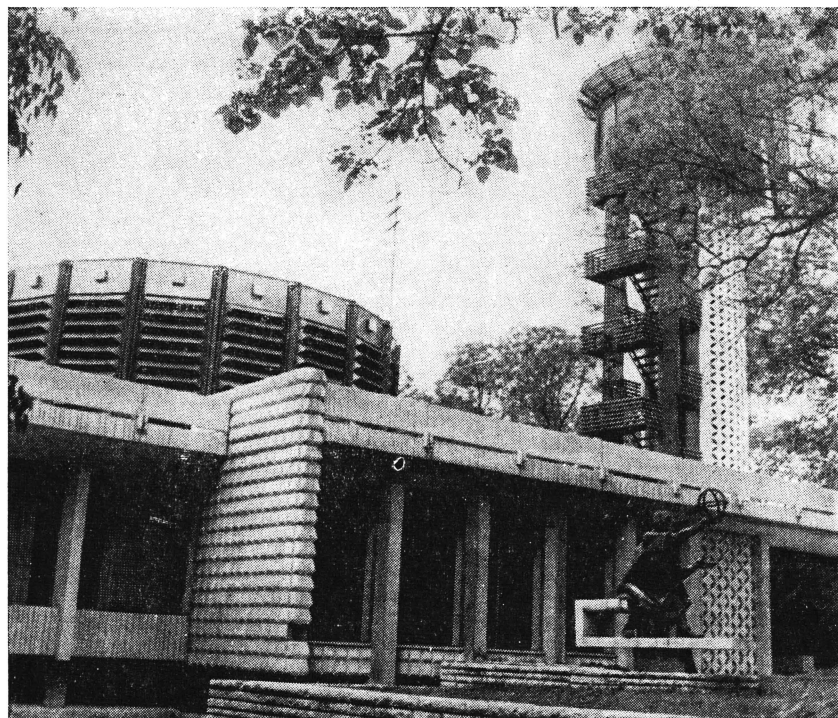


ненных ими наблюдений публикуются в болгарских и советских научных изданиях.

Разнообразная деятельность народных обсерваторий высоко оценена Болгарской Коммунистической партией, Академией наук и Министерством народного образования.

В прошлом почти в каждом населенном пункте Болгарии воздвигались церкви. В руках буржуазного государства они были мощным орудием идеологического воздействия. Сегодня болгарский народ охотно выделяет средства для создания народных обсерваторий и планетариев, которые способствуют воспитанию материалистического мировоззрения у молодых строителей социалистического государства.

Доцент
Н. С. НИКОЛОВ



Народная обсерватория в Белоградчике. Идет монтаж 60-сантиметрового рефлектора Цейсса

Народная обсерватория и планетарий имени Николая Коперника в Варне. На переднем плане — памятник Николаю Копернику



ДЕКАМЕТРОВОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЮПИТЕРА

Все планеты Солнечной системы отражают свет Солнца и излучают, как нагретые тела, преимущественно в инфракрасном диапазоне. И только Юпитер испускает излучение на длинах волн, измеряемых дециметрами и десятками метров. Дециметровое излучение планеты вызвано движением электронов в ее магнитном поле. Механизм декаметрового излучения до сих пор не ясен.

Впервые декаметровое радиоизлучение Юпитера обнаружили на частоте 22 Мгц (длина волны 13,6 м) американские астрономы Б. Бэрк и К. Франклин в 1955 году. Позднее оно неоднократно регистрировалось на разных частотах в диапазоне длин волн от 7 до 100 м. Излучение происходит спорадически: короткие всплески группируются в шумовые бури, продолжительностью около часа.

Вначале источник декаметрового сигнала связывали с грозой в атмосфере Юпитера. Однако мощность сигнала превышает мощность грозового разряда в миллиард раз. Затем было высказано предположение, что Юпитер (точнее, его атмосфера), подобно линзе, фокусирует на Землю излучение от малых и далеких космических источников. Но на небе просто нет столь большого числа источников декаметрового радиоизлучения, чтобы объяснить все случаи приема сигнала.

Наконец удалось установить, что шумовые бури наблюдаются всякий раз, когда центральный меридиан Юпитера пересекают определенные участки поверхности планеты. Периоды обращения радиоисточников оказались постоянными с точностью до десятой доли секунды. Известно, что не только разные пояса Юпитера вращаются с разными периодами, но и что периоды всех известных атмосферных образований подвержены случайным колебаниям. Строгая периодичность обра-

щения радиоисточников, как будто, свидетельствует о их расположении на твердой поверхности планеты. Согласно модели планеты, предложенной Р. Вильдом, Юпитер обладает твердой корой.

Декаметровое радиоизлучение бывает двух типов: L (от английского Long — долгое) и S (от Short — краткое). L-излучение непрерывно во времени и по частоте, оно занимает широкую полосу частот (порядка нескольких мегагерц) в течение нескольких секунд. Преобразованное в звуковые колебания, L-излучение напоминает свист. S-излучение складывается из сигналов длительностью в миллисекунды, разделенных паузами в сотые доли секунды. Оно занимает узкую полосу частот (менее 50 кгц) и на слух воспринимается как шипение.

Почему же продолжительность непрерывного приема L-сигнала измеряется секундами, а S-сигнала — всего миллисекундами? Скорость распространения электромагнитных волн в среде меньше, чем в пустоте. Поэтому, проходя сквозь облака межпланетной плазмы, сигнал несколько замедляется. Падение скорости ничтожно, но протяженность облаков велика, и на всем пути от Юпитера до Земли время задержки сигнала может достигнуть 0,2—0,3 секунды. Солнечный ветер изменяет положение облаков плазмы между Юпитером и Землей — меняется и время задержки. Волны, покинувшие Юпитер с постоянной частотой, местами сгущаются, местами разрежаются. В результате, во время приема наблюдаются флуктуации частоты: узкая полоса частот S-сигнала то уходит, то возвращается к частоте приема. Широкий частотный диапазон L-излучения, напротив, обеспечивает почти непрерывный прием его, несмотря на флуктуации частоты.

Частота 22 Мгц оказалась не единственной, на которой был осуществлен прием. Примечательно, что S-сигналы придерживаются определенных частот: 10,1; 15,0; 16,5; 18,0;

19,3; 22,0; 26,3; 27,6 и выше — до 36 Мгц. При повторных наблюдениях несколько месяцев спустя их обнаруживали на прежних или близких частотах.

Каковы размеры областей, излучающих L- и S-сигналы? Угловой размер L-источника порядка шести секунд. Диаметр Юпитера равен 23 секундам, следовательно, площадь области L-излучения значительна. Для размера S-источника получена лишь верхняя граница — менее 0,1 секунды, то есть менее 400 км на Юпитере. Американские исследователи Р. Флегг и Т. Карр, повысив временное разрешение сигнала с единиц миллисекунд до десяти микросекунд, показали, что S-излучение состоит из последовательных радиоимпульсов длительностью 20 микросекунд, причем интенсивность излучения меняется скачками за время, меньшее 10 микросекунд, а это — предел разрешающей способности аппаратуры. Процесс, вызывающий радиоизлучение, не может распространяться в источнике быстрее скорости света. Отсюда следует, что размер S-источника менее 3 км. Итак, L-источник превосходит S-источник по линейному размеру приблизительно в 10 000 раз!

Где может размещаться столь малый источник? Известно лишь, что S-излучение поступает из района Юпитера. Вероятность шумовой бури, как показал в 1964 году американский радиоастроном Е. Бигг, зависит от положения на своей орбите Ио — первого галилеева спутника Юпитера. Поэтому некоторые ученые считают, что источник S-излучения находится в окрестностях Ио или на нем. Большинство же специалистов по-прежнему придерживается мнения, что источники L- и S-излучения расположены на Юпитере.

Итак, оба типа декаметрового радиоизлучения Юпитера существенно различны. Различны положения их источников на планете, размеры, а главное — спектры. L-излучение, обычное для радиоастрономии, на-



ПО ВЫСТАВКАМ
И МУЗЕЯМ

Школьный музей космонавтики

12 апреля 1972 года в школе № 24 города Волжского Волгоградской области открылся музей космонавтики...

Мягкий, голубоватый свет заливал центральный зал, подчеркивая выразительность экспозиции. Стены зала темно-синего, почти «космического» цвета. Они украшены оригинальным фризом, составленным из фамилий советских космонавтов. Фриз обрывается многоточием. Радует глаз конструкция выставочных витрин.

Как и в настоящем музее, экспонаты расположены по темам: запуск первого искусственного спутника Земли, запуск ракет с животными на борту, человек в космосе, выход в космическое пространство, изучение Луны и планет Солнечной системы.

Такой порядок экспозиции предложили учащиеся школы и руководитель музея — учитель М. Н. Ефремов. Михаил Николаевич Ефремов, страстный любитель астрономии и космонавтики, много сил отдал организации музея.

История создания и развития космической техники представлена экспонатами, рассказывающими о деятельности трех советских ученых: К. Э. Циолковского, Ф. А. Цандера, С. П. Королева.

В витрине о Циолковском привлекают внимание портрет Константина Эдуардовича и редкие фотографии. Вот Циолковский за работой в своем кабинете; на следующем снимке — он трудится над созданием проекта

цельнометаллического дирижабля. На фотографиях — уголок мастерской великого ученого... Родная Калуга... Места, связанные с жизнью Циолковского. Фотокопии его трудов, схематический чертеж космической ракеты.

В другой витрине — описание конструкции и схема межпланетного корабля Цандера, биография ученого, фотография одной из первых экспериментальных ракет — ГИРД X.

Интересна витрина, рассказывающая о конструкторе ракетно-космических систем, академике С. П. Королеве. На одной из фотографий — Королев в юности. А вот Сергей Павлович с собакой, побывавшей в космосе... Кабинет Королева... Конструктор

поминает всплески излучения Солнца. S-излучение не похоже ни на что известное до сих пор. Его спектр состоит из набора линий... в декаметровом диапазоне! Линейчатый спектр в радиодиапазоне встречался пока только у квазаров. Но у них он вызван большим красным смещением, которого у Юпитера быть не может.

Предложено около десятка гипотез о механизме декаметрового радиоизлучения. Многие гипотезы связывают его с движением электронов в магнитном поле Юпитера, предполагая общий механизм декаметрового и дециметрового излучений. Такое объяснение подходит для L-, но не для S-излучения.

Согласно этим гипотезам, Ио, двигаясь в магнитосфере Юпитера, возмущает ее. Следовательно, Ио либо намагничен, либо окружен облаком заряженных частиц, а может быть, электропроводен. Если Ио обладает магнитным полем, то оно должно

влиять на излучение Юпитера в сантиметровом диапазоне волн, чего не наблюдается. А без собственного магнитного поля Ио не может удерживать заряженные частицы. Наконец, сложенная из силикатных пород поверхность спутника, как показал расчет, имеет слишком большое электрическое сопротивление, чтобы взаимодействовать с магнитным полем Юпитера. К тому же шумовые бури S-излучения не совпадают по времени с прохождениями Ио вблизи магнитной оси Юпитера.

Другие гипотезы предполагают, что Ио возмущает радиационные пояса Юпитера. Но внешний из двух поясов удален от центра Юпитера на расстояние 3,5 радиуса планеты, орбита же Ио — на 6 радиусов. Поэтому Ио не может возмущать радиационные пояса. Это должна была бы делать Амальтея — ближайший к Юпитеру спутник. Но статистика шумовых бурь демонстрирует их независимость от положения и движения Амальтеи.

Не исключено, что S-излучение имеет какое-то общее объяснение, связанное с еще одной загадкой Юпитера. Эта планета испускает втрое больше энергии, чем получает от Солнца! Заметим также, что внешнее S-излучение похоже на сигналы земных радиостанций, работающих в том же диапазоне волн. Малый размер источника (менее 3 км), узость полосы частот излучения (50 кгц), импульсная модуляция сигнала и, наконец, предполагаемое размещение источника на твердой поверхности планеты не противоречат гипотезе об искусственном происхождении S-сигналов. Правда, это слишком маловероятная гипотеза, и мы о ней упомянули для того, чтобы подчеркнуть, сколь таинственной остается для нас природа декаметрового излучения Юпитера после 18 лет исследований!

Кандидат технических наук
С. П. БОЖИЧ



перед запуском первого космического корабля «Восток»... Королев и космонавт № 1 после полета.

Большой раздел посвящен Юрию Алексеевичу Гагарину (школа № 24 соревнуется за право носить его имя). Посетители могут ознакомиться с газетами, возвестившими о начале космической эры, послушать магнитофонную запись сообщения ТАСС о запуске космического корабля с человеком на борту и голос Гагарина. В экспозиции представлены снимки, на которых запечатлены все этапы подготовки и успешное завершение полета. Вот миниатюрный макет космического корабля «Восток». Его смонтировал и подарил музею ученик 4 класса Витя Каданев.

В разделе «Мировое освоение космического пространства» демонстрируются многочисленные макеты межпланетных автоматических станций, самоходной автоматической лабора-

тории «Луноход-1». Обращает на себя внимание 4-метровый макет ракеты-носителя «Восток», сделанный школьниками.

Особое место в экспозиции музея занимают письма с пометкой «Почта космонавтов СССР». Писем много. Вот одно из них. Это — ответ космонавта В. А. Шаталова пионерам 4 класса. Космонавт рассказывает о своей жизни, о том, как он готовился к полетам, желает ребятам хорошо учиться. Здесь же под стеклом — дипломы, подписанные летчиком-космонавтом А. Г. Николаевым. Ими награждались победители школьной космической викторины. Рядом — письма ветеранов ракетной техники, сотрудников С. П. Королева.

Школьному музею помогли многие организации. Центральный совет

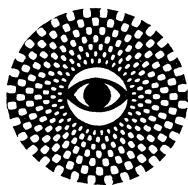
Внешний вид школьного музея космонавтики

Всесоюзного астрономо-геодезического общества прислал в дар комплект журнала «Земля и Вселенная» и другие издания.

Государственный политехнический музей, Мировой центр данных, Московский и Волгоградский планетарии, Волгоградское телевидение, редакции местных газет передали музею много интересных материалов. Шефы школы — коллектив Волжского завода синтетического волокна и профсоюзная организация объединения «Ленбытхим» — предоставили все необходимое для оборудования музея.

Школьному музею космонавтики только год. С каждым днем пополняется его экспозиция. Много еще предстоит сделать, например создать хороший астрономический кабинет, но главное уже есть — это желание и вера в свои силы.

А. В. КОКШИЛОВ



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Юные астрономы Ярославля

Всего четвертый год при Областной станции юных техников работает Ярославское общество юных любителей астрономии. В 1967—1968 годах это была группа энтузиастов-школьников 9—10 классов. Не имея оптических приборов, ребята занялись наблюдениями метеорных потоков. Тогда же завязалась переписка с Симферопольским обществом юных любителей астрономии, члены которого известны как опытные наблюдатели метеоров. Метеорные карты и журналы, посланные в Крым, получили высокую оценку.

В августе 1968 года ярославцев пригласили участвовать в 44-й крымской метеорной экспедиции. Полтора месяца работали ребята на заводах, чтобы поехать в Крым. И вот первые наблюдения метеоров в научной экспедиции. Небо поражало своей чернотой, звезды — блеском. Незаметно пролетели 20 дней наблюдений. Ярославским школьникам посчастливилось сделать первое научное открытие — два новых метеорных потока в созвездиях Лиры и Северной Короны.

С 1969 года общество стало под держиваться Областной станцией юных техников. Появилась возможность организации крупных экспедиций. В весенние школьные каникулы 1969 года по программе, присланной из Симферополя, была проведена пятая ярославская метеорная экспедиция на территории школы, расположенной в поселке Красные Ткачи (25 км от Ярославля). В экспедиции участвовало 20 учеников 8—10 классов. Ночью, во время наблюдений, температура воздуха падала до минус 29°, но юные астрономы так были увлечены, что не ощущали холода.

Ведь столько метеоров на небе! Они едва успевали наносить их на карты. По результатам обработки был выведен 71 радиант для 23 метеорных потоков. Все ребята приобрели навыки наблюдений метеоров, а четверо наших лучших метеорщиков А. Ярославцев, Л. Чистякова, Д. Хохлов и Е. Малахаев даже работали инструкторами на I Всесоюзной конференции юных астрономов в Баку.

В марте 1969 года ярославские школьники стали хозяевами давно никем не используемой обсерватории Медицинского института. Несколько раз они проводили субботники по уборке башни. На совете общества разработали план капитального ремонта обсерватории. Летом начался ремонт купола. И хотя не хватало опыта в строительном деле, настойчивость победила — раздвижной купол обсерватории действует безотказно. Долго не удавалось достать тес. Но сейчас у обсерватории уже новые стечы. Теперь предстоит еще более сложная работа — установить в башне телескоп.

В начале 1970/71 учебного года в обществе насчитывалось 45 школьников. Теоретические занятия проводились в планетарии. Старшеклассники готовились к новым метеорным экспедициям, младшие школьники знакомились с азами астрономии. Под звездным куполом планетария ребята учились наблюдать метеоры, прибегнув к помощи самодельного «метеоропускавателя». В это же время были приобретены два школьных рефрактора. Начались массовые наблюдения Луны и Солнца.

В программе работы общества, по-прежнему, большое место отводится

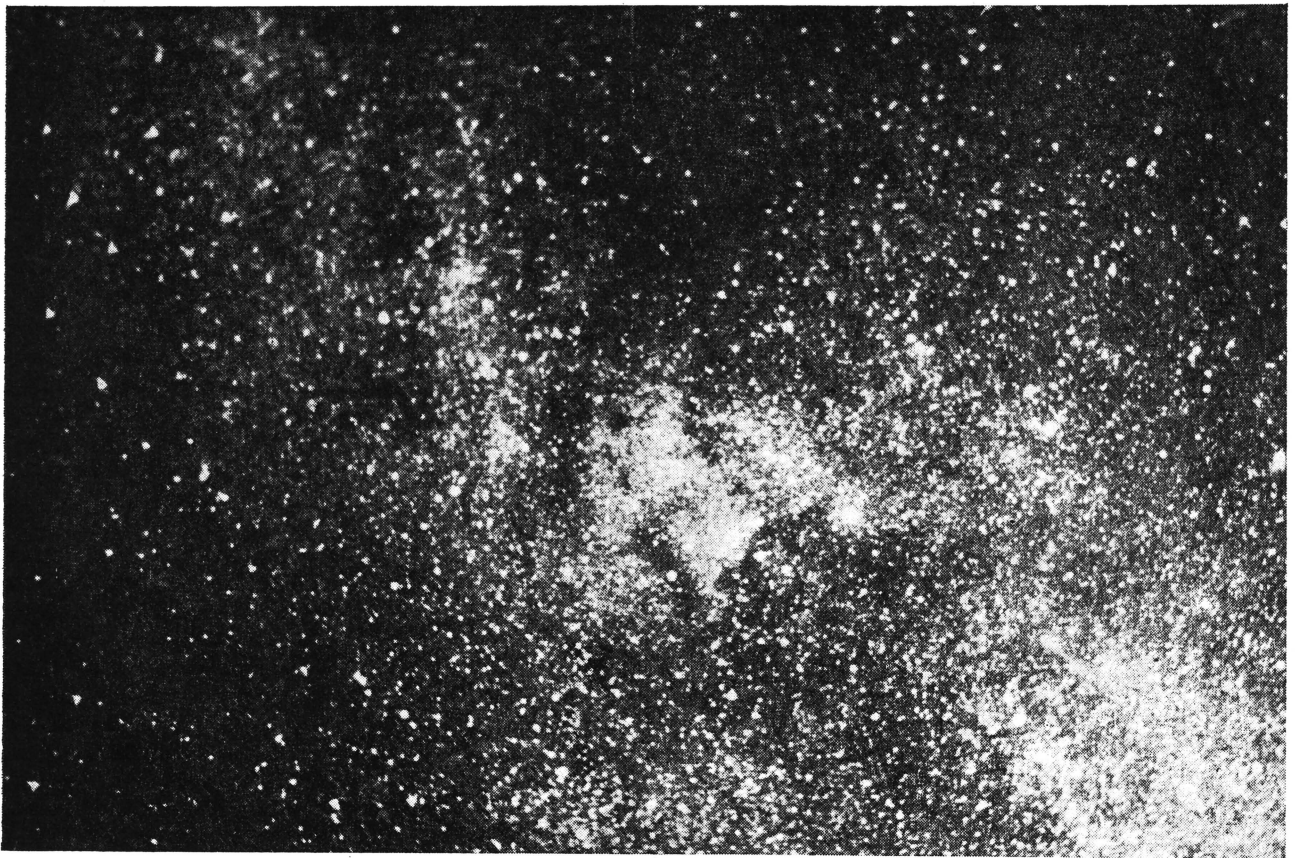
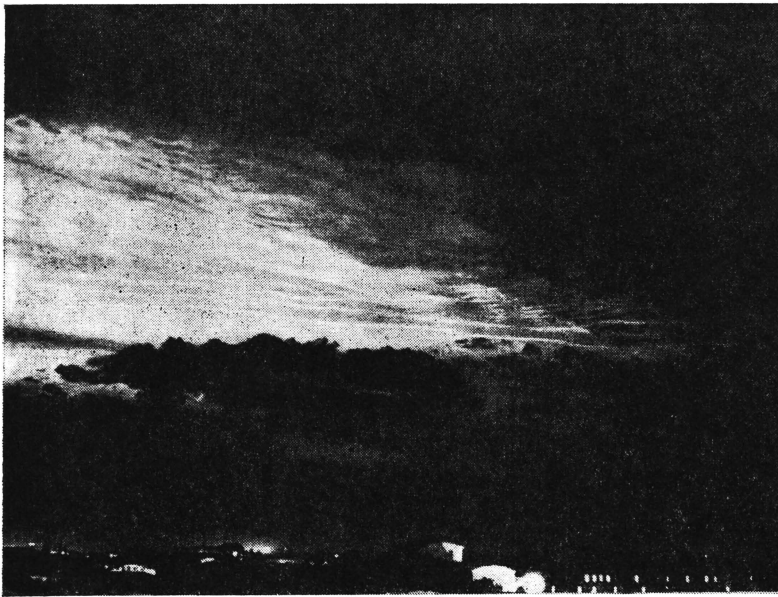
метеорным наблюдениям. В марте 1971 года их вели на наблюдательных площадках Педагогического института. Почти весь месяц юные астрономы патрулировали звездное небо. С 8 на 9 марта они наблюдали над Ярославлем полярное сияние! Оно длилось около пяти часов. Радостные и счастливые наблюдатели не могли успокоиться до самого утра.

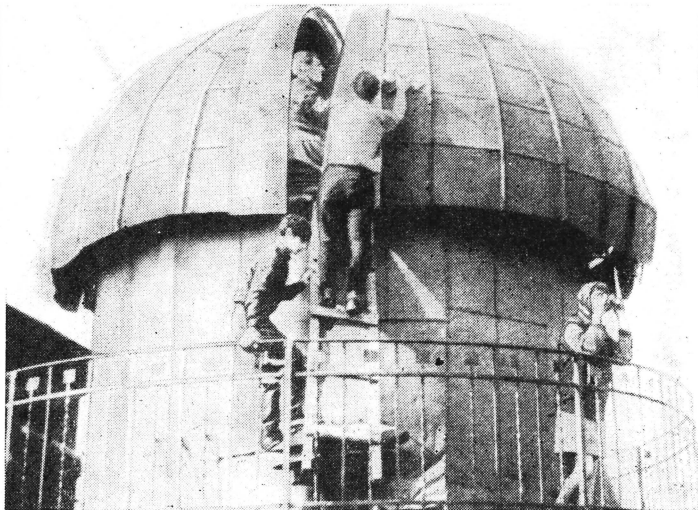
В мае 1971 года ребята приступили к наблюдению серебристых облаков. Два месяца сумеречный сегмент находился в поле зрения наблюдателей и фотообъективов. Было зафиксировано 25 появлений серебристых облаков, 15 засняты на фотопленку, а всего получено несколько сот негативов. Сейчас в наблюдении серебристых облаков, которые проводятся на обсерватории Медицинского института, участвуют и самые младшие кружковцы — шестиклассники.

■
Серебристые облака в ночь с 8 на 9 июля 1970 года. Снимок получен на фотоаппарате «Зенит-В». В наблюдениях участвовали старшеклассники В. Левинов, Н. Фомичев, В. Аристов и В. Бурнашев

■
Луна. Снимок получен С. Анджаном на школьном рефракторе (увеличение 40×, экспозиция 1/30 секунды, пленка чувствительностью 250 ед. ГОСТ)

■
Млечный Путь в созвездии Орла. Участок неба снят фотоаппаратом «Киев» с объективом «Юпитер-3». Наблюдения проводили кружковцы Н. Чекмасов, Н. Фомичев, В. Левинов и В. Лепехин





Юные астрономы не упускают случая наблюдать и редкие небесные явления. В феврале 1971 года они получили на школьном рефракторе снимки Солнца во время затмения, в апреле фотоаппаратом «Любитель-2» сфотографировали комету Беннета.

На II Всесоюзной конференции юных любителей астрономии* ярославские школьники демонстрировали фильм о работе кружка. На конференции С. И. Сорин, руководитель астрономических кружков Баку, пригласил ярославцев принять участие в июльской экспедиции 1971 года. Ребята тщательно готовились к экспедиции, изучали методы астрофотографии.

В июле 1971 года поезд Москва — Баку доставил ярославцев в солнечный Азербайджан. С. И. Сорин показал гостям Дворец пионеров и школьников имени Ю. А. Гагарина, а потом все занялись подготовкой к поездке в Шемахинскую обсерваторию, где должна была проходить экспедиция. С. И. Сорин каждый день читал ребятам лекции по астрофотографии, астроприборостроению, методам уста-

новки телескопов для астросъемки. Ночью фотографировали звездное небо. Получили негативы с изображениями всех созвездий, видимых над горизонтом. В Шемахинской обсерватории ярославцы посетили башни 70-сантиметрового и 2-метрового телескопов, павильон солнечного горизонтального телескопа. Самое большое впечатление на ребят произвела ночная экскурсия в башню 2-метрового телескопа. Им казалось, будто они находятся в огромном фантастическом корабле, где нет ни одного человека и только работает электронный мозг, да отсчитывают секунды звездные часы.

Через год десять кружковцев снова побывали в Баку. Под наблюдением С. И. Сорина они начали шлифовку своего первого зеркала и через три дня они увидели, как плоское стекло приняло вогнутую форму. Тонкую шлифовку зеркала ярославцам помогли сделать юные бакинские телеско-

построители. Теперь кружковцы собираются строить телескоп для своей обсерватории.

1972-й — год напряженнейшей работы Ярославского общества юных любителей астрономии. В январе ребята наблюдали метеоры, в мае начались наблюдения серебристых облаков. Особенно яркими серебристые облака были 27—28 июня и 18—19 июля. В эти ночи ребята фотографировали их до восхода Солнца. В октябре ярославские школьники наблюдали Дракониды. Четыре группы наблюдателей в разных местах города патрулировали небо. Было холодно, но все терпеливо ждали «метеорного дождя». По наблюдениям ярославцев и юных астрономов Углича, с 6 на 7 октября численность слабых метеоров увеличилась.

В новом учебном году члены Ярославского общества юных любителей астрономии Н. Фомичев и Н. Царев организовали при своих школах астрономические кружки. Работает астрономический кружок и при Ярославском планетарии. Им руководит лектор Г. И. Кудымова. С каждым годом растет число юных любителей астрономии в Ярославской области.

Руководитель Ярославского общества юных любителей астрономии
Т. Л. КОРОВКИНА
Фото автора

Кружковцы проводят учебные наблюдения

Школьники ремонтируют купол обсерватории Ярославского медицинского института

* Б. Г. Пшеничнер. II Всесоюзная конференция юных любителей астрономии. «Земля и Вселенная», № 5, 1971 г. (Прим. ред.)

Знаете ли Вы метеорную астрономию?

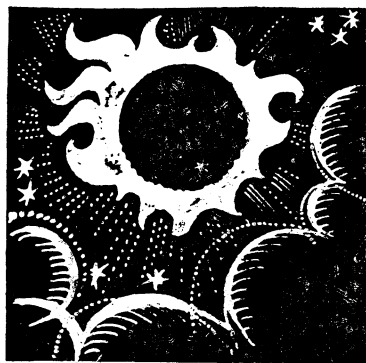
Многочисленным наблюдателям метеоров мы предлагаем десять задач о метеорах и метеоритах. Задачи, как правило, не требуют сколько-нибудь сложных вычислений.

1



Можно ли заметить днем болид минус 6-й звездной величины? Болидами называются очень яркие метеоры.

2



Во время полного солнечного затмения на диске Луны появился стационарный метеор. Что можно сказать о его орбите? Напомним, что стационарным называется метеор, летящий точно на наблюдателя.

3



Допустим, что Солнечная система встретила на своем пути достаточно плотное протяженное облако крупной межзвездной пыли, которое вызвало на Земле многолетний метеорный дождь. Что можно сказать о радианте этого гипотетического метеорного потока?

4



Через какой светофильтр лучше всего видны метеоры?

5



Два каменных метеорита врезались в Луну со скоростью 20 км/сек, взорвались и образовали кратеры диаметром 100 и 200 метров. На сколько отличались размеры метеоритов?

6



Орбита метеорного потока касается орбит Земли и Марса. Какие наблюдатели — марсианские или земные — зарегистрируют больше метеорных частиц? Движение потока обратное.



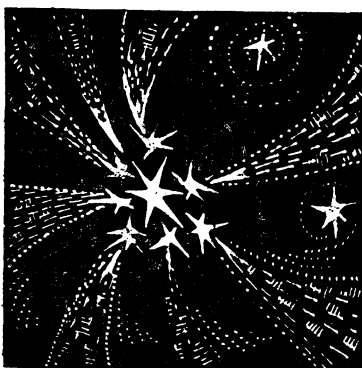
При проверке сообщения о падении метеорита выяснилось, что ослепительный огненный шар пронесся над деревней, оставляя дымный след, и погас на юге, не долетев примерно 10° до горизонта. Спустя минуту очевидцы почувствовали сотрясение почвы, а еще через 30 секунд услышали громовой удар и грохот. Далеко ли от деревни следует искать метеорит?

8



С искусственного спутника Земли точно внизу наблюдали метеор 2-й звездной величины. С наземной станции этот метеор зарегистрировали в зените, его блеск оказался равным первой звездной величине. Оцените высоту спутника.

9



По словам любителя астрономии, он, наблюдая однажды метеоры, заметил, что они не вылетают из одной точки — радианта, а влетают в нее. Как Вы отнесетесь к этому сообщению?

10



Что увидят космонавты, находящиеся на орбите искусственного спутника Земли, на ее ночной стороне, во время интенсивного звездного дождя?

Рисунки И. Митюкова

3 МАЙ ИЮНЬ 1973 ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ

Зам. главного редактора кандидат физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН

Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН

Член-корреспондент АН СССР Г. А. АВСЮК, доктор географических наук

А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOB,

доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географических наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, доктор геол.-мин. наук Ю. М. ШЕЙНМАНН

Адрес редакции: 117333
Москва В-333, Ленинский пр., д. 61/1
тел. 135-64-81, 135-63-08

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Корректоры: Г. Н. Нелидова,
А. Н. Федосеева

Т-04867. Подписано в печать 18/V 1973 г.
Сдано в набор 27/II 1973 г.
Формат бум. 84 × 108¹/₁₆. Печ. л. 5,0(8,4)
Бум. л. 2,5. Уч.-изд. л. 9,6 Тираж 50 000 экз.
Цена 40 коп. Заказ 1822

При перепечатке ссылка на журнал
«Земля и Вселенная» обязательна.

2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Фотографируем небо

Я преподаю математику в Чопской средней школе № 2 Закарпатской области. Мои ученики интересуются астрономией и мечтают увидеть в телескоп Луну, планеты, звезды. Однако приобрести хороший телескоп для школы очень трудно, поэтому я и решил строить телескоп сам.

Стекло для параболического зеркала я отлил, вернее, сплавил из круглых дисков оконного стекла, абразивы получил из Венгерской Народной Республики. Диаметр главного зеркала рефлектора 208 мм, рабочее отверстие 202 мм, фокусное расстояние 161,5 см. Труба изготовлена из алюминиевого листа толщиной 3 мм. Диагональным зеркалом служит зеркало из трубки АТ-1, которое я получил от Ужгородской станции наблюдений искусственных спутников Земли. Часовая ось телескопа вращается на роликовых подшипниках, ось склонения — на шариковых. Механизма точной наводки и часового механизма нет.

В телескоп различаются многие детали на Луне, щель Кассини в кольце Сатурна. Предельное разрешение его такое, что видны почти раздельно компоненты ϵ^1 и ϵ^2 Лиры, угловое расстояние между которыми 3 секунды. Увеличения трубы 50, 65 и $125\times$ (последние два с микроскопическими окулярами). Сейчас я готовлю к работе окуляр с увеличением $250\times$ (объектив микроскопа).

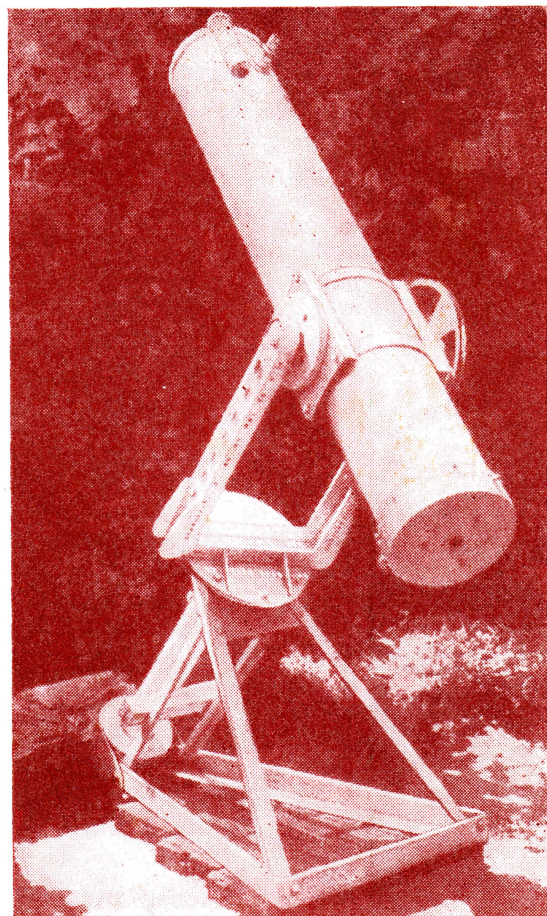
Параболическое зеркало покрыто серебром. Но серебро быстро тускнеет, а выполнить какую-либо фотометрическую работу можно лишь при одинаковой светосиле. Для усовершенствования телескопа необходимы алюминирование зеркала и короткофокусный ахроматический окуляр. Может быть кто-либо из телескопостроителей поможет нам в этом?

При школе строится павильон с плоской крышей, в котором будет установлен телескоп. В распоряжении школьников — трубка АТ-1, большой звездный атлас Михайлова и... огромное желание работать.

**Член Львовского отделения ВАГО
Ю. Ю. ПАЛКО**

■
*Телескоп системы Ньютона, изготовленный
Ю. Ю. Палко*

■
Луна. Снимок получен Ю. Ю. Палко на самодельном телескопе





ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“

ЦЕНА 40 КОП
ИНДЕКС 70336